

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

## **Měření kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji**

## **Roudness Measuring at Coordinating Measuring Machines**

Student:

David Irišek

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Ostrava 2009



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Měření kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji

*Roudness Measuring at Coordinating Measuring Machines*

<b>Student:</b>	David Irišek
<b>Studijní obor:</b>	2303R002 – 70 Strojírenská technologie
<b>Pracoviště:</b>	Katedra obrábění a montáže – 346

### Zásady pro zpracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Měření kruhovitosti.
3. Návrh metodiky měření konkrétní součásti.
4. Diskuze výsledků.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

**Pokyny pro zpracování:**

**Rozsah práce:** Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

**Seznam doporučené literatury:**

- VASILKO, K., NOVÁK-MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo. [I]* Prešov : Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- NESLUŠAN, M., TUREK, S., BRYCHTA, J., ČEP, R., TABÁČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. [I]* Žilina : EDIS Žilina, 2007, 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- BRYCHTA, J., HAVRILA, M., JURKO, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábaní. I. časť – Obrábané materiály.* Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- ZAJAC, J., JURKO, J., ČEP, R. *Top trendy v obrábaní. II. časť – Nástrojové materiály. [I]* Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- VASILKO, K., HAVRILA, M., MARCINCIN-NOVÁK, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábaní. III. časť – Technologie obrábění. [I]* Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

**Vedoucí bakalářské práce:** doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.  
**Datum zadání bakalářské práce:** 8. října 2008  
**Datum odevzdání bakalářské práce:** Akademický rok 2008/2009



  
.....  
**doc. Dr. Ing. Josef BRYCHTA**  
vedoucí katedry

  
.....  
**prof. Ing. Radim FARANA, CSc.**  
děkan

V Ostravě dne 1. října 2008

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

## **Prohlašuji, že**

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

.....

Plné jméno studenta

Hálkova 14,  
789 85 Mohelnice

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

IRIŠEK, D. Měření kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 42 s. Bakalářská práce, vedoucí: doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací měření kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji, vhodnosti jeho užití a stanovením nejistot měření. V teoretické části je popsána problematika měření kruhovitosti, metod měření, chyb měření a obecně popsán postup stanovení nejistot měření. Následně je zde uvedeno k čemu VT kladky slouží, a kde se používají.

V praktické části je popsán postup přípravy na měření a způsob měření dané součástky s vysvětlením problémů, kterých se musíme při měření vyvarovat. Následuje popis realizace měření na měřidlech a v poslední kapitole samotný výpočet nejistot měření a technicko ekonomické zhodnocení.

## **ANNOTATION OF THESIS**

IRIŠEK, D. Roundness Measuring at Coordinating Measuring Machines. Ostrava: Department of Working and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB-Technical University of Ostrava, 2009, 42 s. Thesis, head: doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

This thesis is focused on suggestion and implementation of the roundness measuring by coordinate gauge, suitability of gauge usage and evaluation of the uncertainty measuring. There is description of the roundness measuring issue, measurement methodology, deviation of the measurement and general description of the evaluation uncertainty measuring procedure in the theoretical part of thesis. Then you can find there explanation of the VT part usage.

There is description of the procedure – preparation of the measurement, way of the measure of the VT with the issue description which must be avoided during the measure. Then follows description of the measure on the gauges and there is final evaluation of the uncertainty measuring with technical and economical evaluation.

## **OBSAH**

### **Seznam použitých výrazů a zkratek**

<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Obecná charakteristika daného problému.....</b>	<b>2</b>
1.1. Popis kruhovitosti .....	2
1.2. Timken ve světě.....	3
1.3. Timken Olomouc .....	5
<b>2. Měření kruhovitosti.....</b>	<b>7</b>
2.1. Kruhovitost .....	7
2.1.1. Odchytky tvaru a polohy .....	7
2.1.2. Odchytky tvaru .....	7
2.1.3. Odchytky kruhovitosti měřeného profilu součástí.....	8
2.2. Kontrola (měření) odchylek kruhovitosti .....	8
2.2.1. Metody měření kruhovitosti .....	8
2.2.2. Podmínky přesného měření .....	10
2.2.3. Analýza harmonických složek profilu .....	12
2.3. Chyby měření.....	14
2.3.1. Základní pojmy .....	14
2.3.2. Chyby měření.....	15
2.4. Stanovení nejistot měření .....	16
2.4.1. Stanovení nejistoty typu A.....	17
2.4.2. Stanovení nejistoty typu B.....	18
2.4.3. Stanovení kombinované nejistoty .....	19
2.4.4. Stanovení rozšířené nejistoty .....	20
2.4.5. Vyjádření nejistoty měření .....	20
<b>3. Návrh metodiky měření konkrétní součásti.....</b>	<b>21</b>
3.1. Zákon o metrologii a související předpisy .....	21
3.2. Popis a použití měřené součásti v praxi.....	21
3.2.1. Popis měřené součásti .....	21
3.2.2. Souřadnicový měřicí přístroj pro měření kruhovitosti ScanMax .....	22
3.2.3. Formtester MMQ 44 CNC (kruhoměr).....	24
3.3. Příprava na měření .....	25
3.3.1. Prostředky potřebné pro samotné měření .....	25
3.3.2. Nastavení souřadnicového měřidla na měření .....	26

3.3.3. Nastavení Formtester MMQ 44 CNC na měření.....	26
3.3.4. Nachystání teploměru .....	28
3.4. Návrh metody měření .....	28
3.4.1. Samotné měření na třísouřadnicovém měřícím přístroji.....	29
3.4.2. Samotné měření na Formtester MMQ 44 CNC .....	29
<b>4. Diskuze výsledků .....</b>	<b>31</b>
4.1. Realizace samotného měření dle návrhu .....	31
4.1.1. Informace o měření dané součástky na souřadnicovém měřícím přístroji.31	
4.1.2. Informace o měření dané součástky na Formtester MMQ 44 CNC .....	31
4.1.3. Přehled naměřených hodnot .....	32
4.2. Stanovení nejistot.....	33
4.3. Stanovení nejistot pro třísouřadnicový měřící přístroj .....	33
4.3.1. Stanovení nejistoty typu A.....	33
4.3.2. Stanovení nejistoty typu B.....	34
4.3.3. Stanovení kombinované nejistoty .....	35
4.3.4. Stanovení rozšířené nejistoty .....	35
4.4. Stanovení nejistot pro Formtester MMQ 44 CNC.....	36
4.4.1. Stanovení nejistoty typu A.....	36
4.4.2. Stanovení nejistoty typu B.....	37
4.4.3. Stanovení kombinované nejistoty .....	38
4.4.4. Stanovení rozšířené nejistoty .....	38
4.5. Přehled vypočítaných nejistot.....	38
4.6. Výsledek měření .....	39
<b>5. Technicko ekonomické zhodnocení.....</b>	<b>40</b>
5.1. Technické zhodnocení .....	40
5.2. Ekonomické zhodnocení.....	40
<b>Závěr .....</b>	<b>42</b>
<b>Použitá literatura</b>	
<b>Seznam příloh</b>	



## Seznam použitých výrazů a zkratek:

k	koeficient rozšíření	[ - ]
mld.	miliarda	[ - ]
mil.	milión	[ - ]
nrmin.	normominuty	[min]
n	počet měření	[ - ]
t	teplota	[°C]
y	naměřená hodnota	[mm]
U	rozšířená nejistota	[μm]
ε	absolutní chyba	[ % ]
δ	relativní chyba	[ % ]
x	skutečná (pravá) hodnota	[mm]
μ	střední hodnota	[mm]
σ	směrodatná odchylka	[mm]
$x_i$	jednotlivé naměřené hodnoty	[mm]
$u_A$	standardní nejistota typu A	[μm]
$u_B$	standardní nejistota typu B	[μm]
$u_C$	kombinovaná nejistota	[μm]
ČMI	Český metrologický institut	[ - ]
ISO	International Standard Organization – Mezinárodní standardizační organizace	[ - ]
LSC	střed nejmenších čtverců (lest squares mean circle)	[ - ]
MIC	střed největší vepsané kružnice (maximum inscribed circle)	[ - ]
MCC	střed nejmenší opsané kružnice (minimum circumscribed circle)	[ - ]
MZC	střed nejmenšího pásma (minimum zone circles)	[ - ]
UPR	počet vln na otáčku (Undulation Per Revolution)	[ - ]
VK	vstupní kontrola	[ - ]

# Úvod

V dnešním světě zaplněném konkurencí se snaží každá společnost získat co největší tržní podíl a zvláště pokud se jedná o nadnárodní americký koncern, kterým je např. společnost Timken. Společnost Timken je třetím nejvýznamnějším celosvětovým výrobcem ložisek, specializujícím se především na výrobu kuželových, kuličkových, jehličkových, válečkových ložisek a VT kladek. Hlavním a prvotním cílem společnosti je zabezpečit potřebnou jakost výrobků, která je spojena se spokojeností zákazníků a to hlavně díky systému technických a organizačních opatření.

V olomouckém závodě se jakostí výrobků zabývá oddělení jakosti, jehož součástí je i metrologie. V daných odděleních dochází ke kontrole a přeměřování součástí na vysoce přesných měřicích přístrojích. Provádí se zde samozřejmě i kalibrace mnoha druhů měřidel a další činnosti spjaté s výrobním procesem závodu.

K jednomu z nejmodernějších měřidel v metrologické laboratoři patří souřadnicový měřicí přístroj, který slouží k rychlému a přesnému měření výrobků, vznikajících ve výrobním programu společnosti. Také napomáhá v procesu zavádění nových produktů, který je bezpodmínečně nutný k zajištění kvality výrobků.

V této práci jsem se zaměřil na vhodnost využití souřadnicového měřicího přístroje pro měření kruhovitosti, která se standardně provádí na měřidle k tomuto určenému a to na kruhoměru v metrologické laboratoři. Cílem je zjištění, zda by bylo možné využít měřidla pro tento druh měření na vstupní kontrole (dále VK), kde dochází k přejímce soustružených kusů od jednotlivých dodavatelů. Metoda měření kruhovitosti bude aplikována na konkrétní součásti, která zaujímá nemalé procento z výrobního programu společnosti.

V teoretické části jsem popisoval metodiku měření kruhovitosti, zmínil jsem problematiku chyb měření a obecně rozepsal postup stanovení nejistot. Následně jsem uvedl, k čemu se VT kladky používají a kde se s nimi můžeme setkat.

Praktická část popisuje samotnou přípravu na měření, návrh metodiky měření a porovnání s měřením na kruhoměru. Poslední kapitola se zabývá stanovením nejistot a porovnáním výsledků.

Cílem tohoto výzkumu je stanovení metodiky měření kruhovitosti na souřadnicovém měřicím přístroji, porovnání a vyhodnocení výsledků s měřením na kruhoměru, stanovení nejistot měření a v poslední části celkové zhodnocení naměřených výsledků a celkové shrnutí dané problematiky.

# 1. Obecná charakteristika daného problému

## 1.1. *Popis kruhovitosti*

Kruhové tvary funkčních povrchů patří k základním konstrukčním prvkům strojních součástí. Objevují se v řadě aplikací, především u nosných a vodících povrchů hřídelí a valivých ložisek. Kontrola přesnosti tvaru - kruhovitosti - je z hlediska funkce součástí mimořádně důležitá.

Přesné měření kruhovitosti povrchu má zásadní význam pro zabezpečení správné a spolehlivé funkce povrchu. Např. valivá ložiska, jejichž funkční povrchy nemají přesný kruhový tvar, se vyznačují větším sklonem k hlučnosti i větší pravděpodobností předčasné funkční poruchy.

Ve výrobě valivých ložisek, kterou se zabývá firma Timken, je jedním z nejsledovanějších parametrů kvality valivých ploch odchylka kruhovitosti. Společně s drsností a vlnitostí povrchu ovlivňuje úroveň vibrací samotného vyrobeného ložiska a tím i kvalitu celého zařízení, ve kterém je dané ložisko zabudované. Především v automobilovém průmyslu se zvyšují požadavky na kvalitu a zdůrazňuje se snižování, respektive minimalizace, chyb tvaru kruhových ploch, a proto je kladena stále vyšší pozornost na zdokonalování metod hodnocení odchylek kruhovitosti a měřící techniky.

Společnost Timken, ve svém výrobním procesu věnuje pozornost odchylkám měření kruhovitosti, které se provádí na speciálních měřidlech, umístěných v měrové laboratoři. Zařízení k měření jsou příliš drahá na to, aby byla umístěna přímo ve výrobě a z tohoto důvodu bylo navrženo měření kruhovitosti na souřadnicovém měřícím přístroji, který je možno umístit kdekoliv ve výrobě popřípadě na vstupní kontrolu.

## 1.2. Timken ve světě

Ve světě rostoucí konkurence nabízí společnost Timken řešení, která pomáhají zákazníkům dosahovat jejich plného potenciálu. Zákazníci se na firmu Timken obracejí jako na důvěryhodného partnera při řešení problémů s přenosem výkonu a třením. A, ačkoliv poskytuje výrobky, služby a technickou podporu, která pomáhá zlepšit výkon zařízení, zákazníci se na firmu spoléhají mnohem více např. v oblastech jako je snižování provozních nákladů a poskytování odborných znalostí, které přispívají ke konečnému hospodářskému výsledku. Firma Timken nabízí více než 100 roků zkušeností, neustálé rozšiřování technických znalostí, zpřesňováním procesů výroby[5].

Společnost Timken je třetím nejvýznamnějším celosvětovým výrobcem ložisek. Specializuje se především na výrobu kuželíkových, kuličkových, jehličkových, soudečkových a válečkových ložisek (viz obr. 1.1). Jednu třetinu objemu výroby koncernu tvoří výroba slitinové oceli. Výroba ložisek a oceli má ve společnosti dlouholetou tradici, neboť společnost samotná byla založena v roce 1899. Dále se zabývá širokým spektrem průmyslových oborů jako je:

- ❖ Letectví a obrana,
- ❖ Zpracovatelský průmysl,
- ❖ Průmysl mobilních zařízení [5].

Přehled hlavních produktů a služeb:

- ❖ díly a služby pro letectví,
- ❖ tyče a trubky z legované oceli,
- ❖ ložiska, montáže a příslušné díly,
- ❖ nástroje pro údržbu ložisek,
- ❖ diagnostické systémy a služby,
- ❖ technické a inženýrské služby,
- ❖ mazání a maziva,
- ❖ převodovky vrtulníků a sestavy hlav rotorů,
- ❖ přesné ocelové díly,
- ❖ opravy a modernizace,
- ❖ snímače,
- ❖ školení [5].

Stručná data o společnosti:

- ❖ Celkový počet pracovníků po celém světě 25 tisíc
- ❖ Celkový počet zařízení: 62 závodů a 104 prodejních míst, technologických středisek a distribučních skladů ve 27 zemích na 6 kontinentech.
- ❖ Do roku 2007 vyplaceny dividendy za 342 po sobě jdoucích čtvrtletí
- ❖ Od roku 1922 na burze cenných papírů v New Yorku (NYSE)
- ❖ Do roku 2007 společnost Timken obdržela více než 300 ocenění kvality od zákazníků.
- ❖ Do roku 2007 závody společnosti Timken a distribuční střediska obdržely 105 osvědčení jakosti podle norem ISO 9001, ISO/TS 16949, AS9100, M-1003 a jiných osvědčení jakosti.
- ❖ Čistý prodej 5 mld.\$
- ❖ Zisk 220 mil.\$ [5]

V současné době má tento celosvětový komplex 100 designérských a prodejních center, téměř 36 000 zákazníků a 26 výrobních závodů na celém světě [5].



# TIMKEN

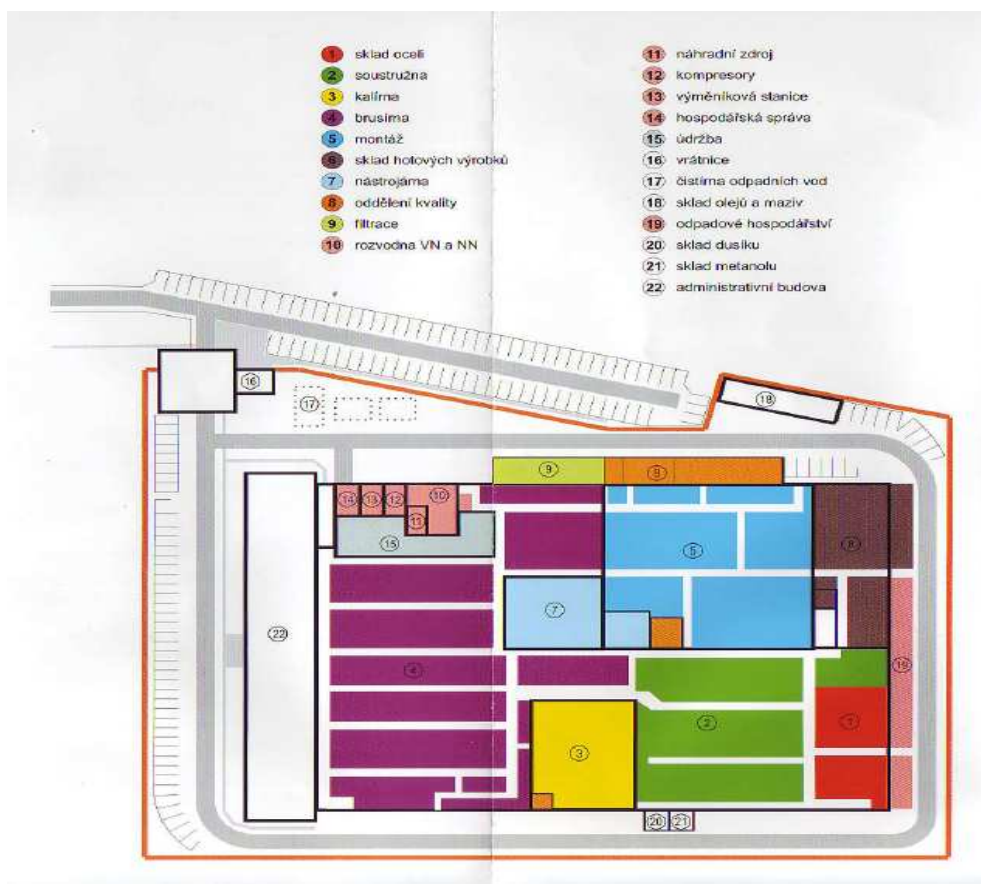
**Obr. 1.1:** Ukázka vybraných produktů společnosti

### 1.3. Timken Olomouc

Společnost Timken Česká republika, s.r.o. se sídlem v Olomouci je významným výrobcem jehličkových a válečkových ložisek, kladek do kolejnic se šroubem, plných VT kladek, kombinovaných ložisek a příslušenství (vnitřní kroužky, koncové podložky, samostatné komponenty), které jsou určeny pro celosvětové automobilky a další strojírenské závody. Hlavním cílem společnosti je udržet vysoký standard v oblasti bezpečnosti práce, kvality výrobků a produktivity práce. Společnost Timken se chce stát nejvýznamnějším výrobcem ložisek s vysokou úrovní kvality výrobků, určených především pro zákazníky z automobilového průmyslu. Společnost je držitelem certifikátu ISO 9001; ISO/TS 16949, ČSN EN ISO 14001 a ČSN EN ISO 18001 (viz Příloha č.1) [5].

#### Základní data o olomouckém závodě:

Rozloha - 11 000 m<sup>2</sup>; zahájení výstavby závodu - leden 2001; dokončení výstavby závodu - červen 2001; zahájení výroby - srpen 2001; počet zaměstnanců - cca 420; počet strojního vybavení – 250; rozmístění provozů (viz. obr. 1.2).



Obr. 1.2: Schéma olomouckého závodu, popis provozů

## **Výrobní proces**

Výrobní proces je u všech vyráběných typů obdobný. Vstupním materiálem pro výrobu jsou ocelové trubky (ocel 100Cr6), ze kterých jsou vysoustruženy základní díly ložisek, vnitřní a vnější kroužky a VT kladky. Ty jsou dále tepelně upravovány kalením do solné lázně, což je hlavní deviza Timkenu Olomouc a to právě kvůli tvarovým deformacím výrobků, které by v případě použití klasického kalení do oleje, měly negativní vliv na kruhovitost a další důležité parametry finálního produktu. Následnou technologickou operací je broušení s přesností na tisícinu milimetru, dále pak soustružení, kompletace z hotových součástí na hotové výrobky, konzervace, balení a expedice. Pro zajištění potřebné kvality je využito služeb servisních oddělení a systému kontroly celého procesu, což zahrnuje i metrologickou laboratoř.

## **Významní odběratelé**

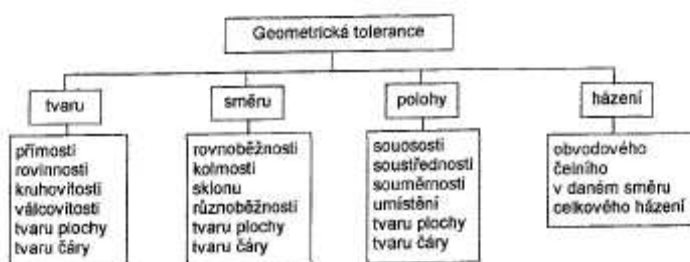
Mezi nejvýznamnější odběratele výrobků patří světové automobilky (Renault, Volkswagen, Audi, Volvo, Maserati a Scania) a dále ostatní strojírenské podniky. Z tuzemských odběratelů to jsou např. Škoda Auto, Linde Český Krumlov [5].

## 2. Měření kruhovitosti

### 2.1. Kruhovitost

#### 2.1.1. Odchylny tvaru a polohy

Skutečné plochy vykazují určité odchylky vzhledem k jmenovitým hodnotám. Norma ISO 1101 definuje geometrickou toleranci jako toleranční pole, ve kterém se musí nacházet skutečný projekt součásti. Základní tolerance definované pro geometrickou přesnost dle této normy (viz obr. 2.1) [4].



**Obr. 2.1:** Schéma klasifikace geometrických tolerancí [4]

Geometrické odchylky jsou výsledkem nepřesnosti procesu výroby a musí být měřeny a kontrolovány [4].

#### 2.1.2. Odchylny tvaru

Odchylka geometrického tvaru je hodnota vychýlení skutečného profilu součásti od jeho jmenovitého profilu. Odchylka geometrického tvaru je stanovení minimální z maximálních vzdáleností hodnoceného prvku od obalového prvku. Pro hodnocení tvarové přesnosti je normou určeno kritérium obalových prvků (čar na profilu nebo ploch na tělese), v odůvodněných případech norma připouští využití středního prvku (čára nejmenších čtverců).

Obalový prvek (čára nebo plocha):

- ❖ má jmenovitý tvar,
- ❖ dotýká se hodnoceného prvku (profilu plochy),
- ❖ dotýká se hodnoceného prvku vně materiálu [4].



### 2.1.3. Odchylna kruhovitosti měřeného profilu součástí

Odchylna kruhovitosti ve srovnání s ideálními podmínkami je uvažována jako rozdíl mezi největším a nejmenším poloměrem měřeného profilu součásti, přičemž se měření může provádět od jakéhokoliv z následujících středů:

- a) střed nejmenších čtverců (LSC) – střed střední kružnice nejmenších čtverců (viz Příloha č. 2),
- b) střed nejmenšího pásma (mezikruží) (MZC) – střed kružnice nejmenšího pásma (mezikruží) (viz Příloha č. 3),
- c) střed nejmenší opsané kružnice (MCC) – střed nejmenší opsané kružnice do vnitřního povrchu (viz Příloha č. 4),
- d) střed největší vepsané kružnice (MIC) – střed největší vepsané kružnice do vnitřního povrchu (viz Příloha č. 5)[3].

Největší a nejmenší poloměr, v každém případě, jsou obecně používány pro stanovení soustředného pásma. Šířka tohoto pásma má označení  $\Delta Z$ , s příponou pro označení jeho středu. V této mezinárodní normě se užívají následující indexy [3]:

- ❖ nejmenší čtverce index q, tudíž  $\Delta Z_q$
- ❖ nejmenší šířka index z, tudíž  $\Delta Z_z$
- ❖ nejmenší opsaná kružnice index c, tudíž  $\Delta Z_c$
- ❖ největší vepsaná kružnice index i, tudíž  $\Delta Z_i$  [3]

## 2.2. Kontrola (měření) odchylek kruhovitosti

### 2.2.1. Metody měření kruhovitosti

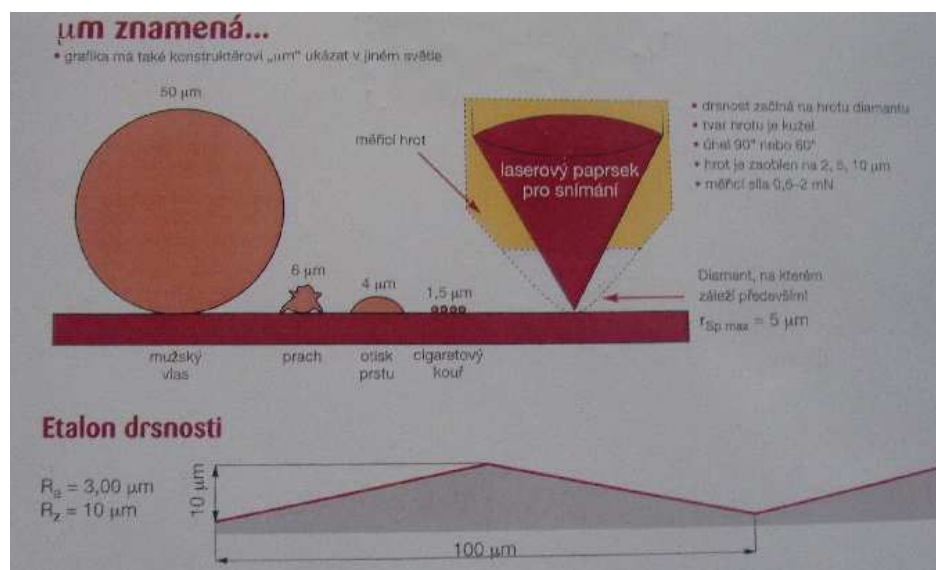
Měření kruhovitosti povrchu lze obecně provádět jedním z následujících způsobů:

- ❖ měřením shodnosti průměrů v řadě různých řezů po obvodu kruhového tvaru (dvoubodová metoda). Je to nejjednodušší a nejméně přesná kontrola kruhovitosti;
- ❖ součást je uložena a otáčí se v prizmatické podložce tvaru V, přitom je změna tvaru zaznamenávána měřicím dotykem úchylkoměru (tříbodová metoda). Hodnoty měření ovlivní nerovnosti povrchu podél délky uložené součásti;

- ❖ sondou souřadnicového měřicího stroje (CMM) jsou snímány body po obvodu povrchu a z nich je vypočtena kruhovitost. Měření většího počtu bodů je časově náročné, menší počet bodů ovlivní přesnost výsledku;
- ❖ kruhovitost stanovená z měření změn poloměru součásti vzhledem k rotační (kruhově) základně; dotykovou sondou je snímán velký počet bodů na obvodu a z nich je vzhledem ke středu součásti vypočtena kruhovitost. Tato nejpřesnější metoda vyžaduje speciální, a tedy nákladnější měřidlo. Volba metody měření kruhovitosti bude ovlivněna požadovanou přesností i rozsahem kontroly a samozřejmě náklady [6].

S vývojem strojírenské výroby se stále více prosazují požadavky na vysokou přesnost kontroly kruhovitosti. Její zajištění vesměs vyžaduje využití zmíněných jednoúčelových měřidel. Požadavky na vyšší přesnost doprovází i změna rozměrové úrovně, což má praktické důsledky [6].

Vysoké přesnosti součástí odpovídá tolerance kruhovitosti v rozsahu  $0,1\text{ }\mu\text{m}$  až  $1\text{ }\mu\text{m}$ . Zatímco délku  $1\text{ mm}$  si asi umí představit každý, velikost mikrometru je již "neviditelná" (viz obr. 2.2) - skutečně jde o mikroskopické měření. Pro představu: tloušťka papíru je asi  $0,1\text{ mm}$ , tloušťka filmu otisku prstu je min.  $0,01\text{ mm}$ , velikost jemného prachu a bakterií je  $0,01 - 0,001\text{ mm}$  a velikost částic tabákového kouře je asi  $1 - 0,1\text{ }\mu\text{m}$ . Z uvedeného vyplývá, že měření může být snadno ovlivněno kontaminací částicemi tabákového kouře, prachem a otisky prstů. Proto existují přísná opatření ke kontrole i řízení prostředí a k manipulaci v procesu přesných měření [6].



Obr. 2.2: Znárodnění mikrometru

### 2.2.2. Podmínky přesného měření

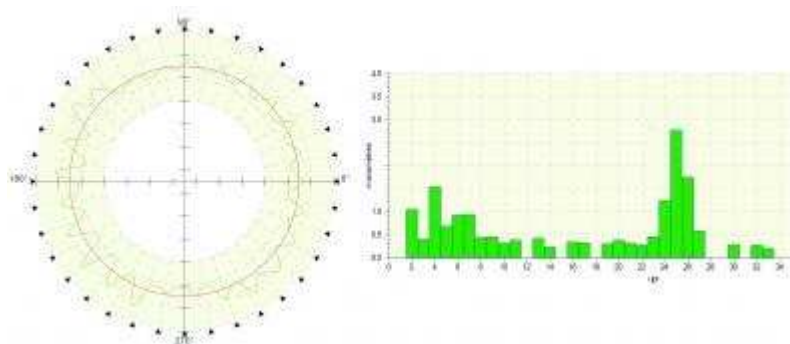
K dosažení vysoké přesnosti měření kruhovitosti povrchu je třeba nejen technicky vhodný a spolehlivý přístroj, ale i dodržení správného postupu a podmínek měření. Přípravu a vlastní proces měření mohou ovlivnit tyto aspekty:

- ❖ prostředí měření;
- ❖ manipulace s kontrolovanou součástí;
- ❖ seřízení měřicího přístroje;
- ❖ ustavení součásti [6].

Pro stav obecně čistého měřicího prostředí je důležitá především teplota, proudění vzduchu a chvění základů uložení přístroje. Z teplotního hlediska je požadována instalace měřidla v místě zcela izolovaném od možnosti působení jakéhokoli tepelného zdroje. Doporučuje se před měřením stabilizovat součást na teplotu místnosti a přístroj neumísťovat do proudícího vzduchu, který může způsobovat kolísání teploty, příp. chvění. Snímací hrot je při měření přitlačen k povrchu malou silou a je citlivý na nanometrické pohyby. Před vzduchovým nárazem lze přístroj chránit vhodným krytem. Umístění přístroje je třeba vybírat i z hlediska ovlivnění chvěním. Většina přístrojů je vybavena uložením s pasivní ochranou proti chvění, která ovšem není úplně dokonalá. Použití aktivního systému nabízí výrazné zlepšení ochrany proti chvění. Přesto nejlepším řešením je mechanická izolace podlahy nebo základny pod přístrojem. Manipulaci se součástí je třeba minimalizovat, poněvadž při ní může dojít ke znečištění nebo ohřevu součásti. Je třeba věnovat pozornost i speciálním požadavkům, např. vyloučit poškození křehkých součástí. Omezení manipulace s funkčními povrchy může zabránit i vzniku koroze, ke které by mohlo vést přenesení mastnoty nebo kyselin z kůže. Vzhledem k vysoké citlivosti měřidel se doporučuje omezit manipulaci před měřením, např. při úpravě uspořádání nebo orientace měřidla. Pro měření je třeba vždy použít správný snímací hrot. Nelze zapomenout na to, že hrot při měření působí jako mechanický filtr. Ustavení kontrolované součásti musí zajistit souosost součásti s rotačním stolem. Pro submikrometrická měření kruhovitosti je požadováno, aby nesoustřednost os součásti a stolu nepřesáhla 1  $\mu\text{m}$ . Pozornost je třeba věnovat i způsobu upínání součásti, aby se zabránilo nepřesnostem způsobených chybnou polohou (např. vykloněním) nebo deformací součásti [6].



**Obr. 2.3:** Ukázka přístroje pro měření kruhovitosti a drsnosti povrchu Talysron 385

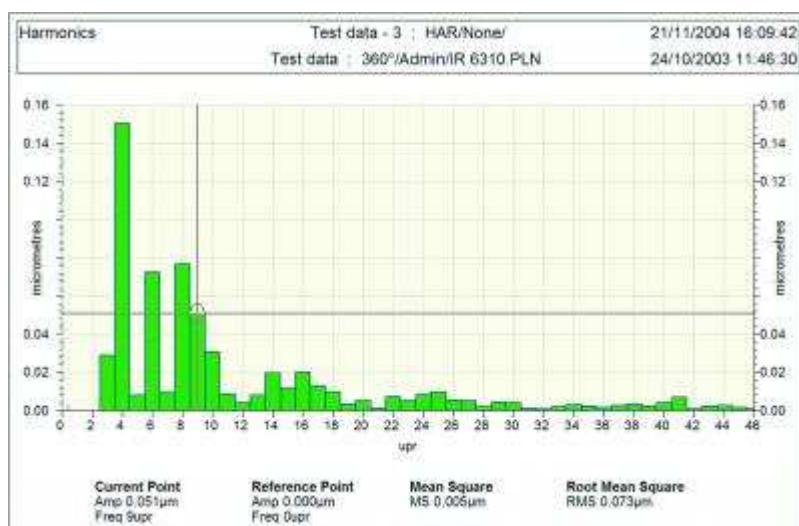


**Obr. 2.4:** Ukázka záznamu měření kruhovitosti ( $10\text{ }\mu\text{m/1d}\ddot{\text{ílek}}$ ) s histogramem harmonických složek profilu, s výraznou velikostí nerovností 25 UPR

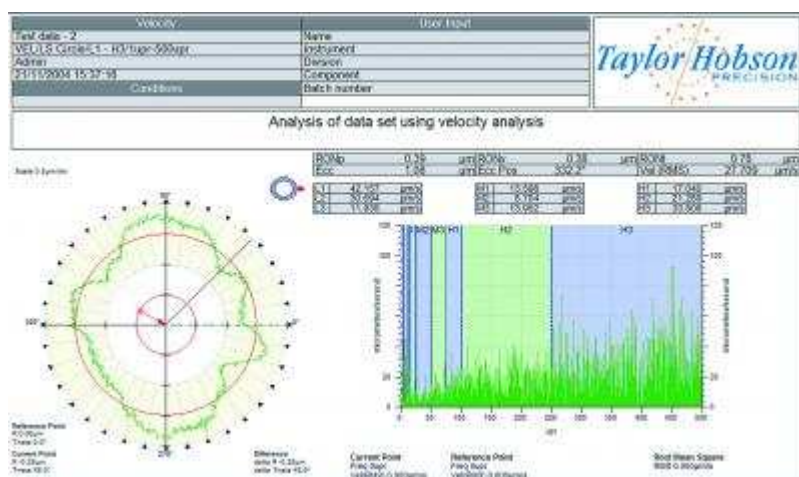
### 2.2.3. Analýza harmonických složek profilu

Základním předpokladem hodnocení úchylek kruhového tvaru je určení jejich velikostí i počtu a třídění podle frekvencí. Při otáčení součásti kruhového tvaru a snímání profilu povrchu v jednom bodě projde během jedné otáčky každá nerovnost místem kontroly jen jednou. Profil povrchu lze nahradit řadou sinusoid, jejichž frekvence se vyjádří počtem vln (nerovností) na otáčku UPR (Undulation Per Revolution) - 1, 2, ....., n - součástí. Uvedené sinusoidy představují harmonické složky ("harmonics") profilu povrchu. Rozdělení harmonických složek profilu povrchu podle frekvencí, stanovení amplitud a fází se provádí metodou nazvanou Rychlá Fourierova transformace. Aplikace této matematické metody vyžaduje datové soubory obsahující  $2n$  bodů. Původně používané metody doplnění souborů, např. interpolací, někdy nepříznivě ovlivnily vlastnosti profilu povrchu. Taylor Hobson využívá k úpravě souborů Winogradovu transformaci, která neovlivňuje objektivitu hodnocení harmonických složek profilu. Analýzy harmonických složek umožňují posuzovat vztahy mezi výsledky měření kruhovitosti a nepřesnostmi výrobních procesů nebo funkčními charakteristikami povrchů, např. hlučností ložisek. Malé frekvence harmonických složek se zpravidla vztahují k chybám seřízení a nastavení. Např. 1. harmonická (1 UPR) je způsobena nesoustředností os součásti a rotace. Běžně se tato nesouostrost odstraňuje a příp. hodnota úchylky se zaznamenává před zobrazením profilu. 2. harmonická (2 UPR) představuje ovalitu, která může být výsledkem chybného obrábění nebo naklonění válcové součásti. Další harmonické nízkých hodnot mohou vzniknout upínáním součástí ve sklíčidlech. V případě, že sklíčidlo součást při upínání deformuje, má součást po obrobení válcový tvar. Uvolněním ze sklíčidla se tvar součásti "mění" v závislosti na počtu upínacích čelistí sklíčidla. Další harmonické složky s nízkými až středními frekvencemi mohou vznikat chvěním ve výrobním procesu. Vyšší frekvence harmonických složek se obvykle spojují se stopami, které na povrchu zanechávají řezné nástroje. Obvykle jsou harmonické složky profilu povrchu využívány implicitně. Volbou filtru pro analýzu jsou cíleně vyřazeny určité harmonické složky z hodnocení. Např. filtr 1-15 UPR lze použít k vyřazení stop po nástroji a zlepšit tak rozlišení chyb způsobených seřízením a případným chvěním. Využitím filtru 50-500 UPR lze potlačit projevy chvění a umožnit hodnocení stop po nástroji. V některých případech, např. při měření ložisek, je výhodné sledovat harmonické složky ve více rozsazích. Každý rozsah totiž představuje a umožní hodnotit jiné funkční charakteristiky (třeba hlučnost nebo pískání ložisek). Amplitudy frekvencí při určitých rychlostech otáčení ložisek jsou často využívány jako kontrolní parametry. Společnost Taylor Hobson vyvinula speciální program "Velocity

Analysis" pro hodnocení harmonických složek valivých ložisek. Program umožní posuzovat vliv jednotlivých harmonických složek profilu povrchu na funkční charakteristiky a stanovení mezních tolerancí pro každý rozsah frekvencí [6].



**Obr. 2.5:** Diagram harmonických složek z analýzy kruhovitosti



**Obr. 2.6:** Výsledky hodnocení „Velocity Analysis“ Taylor Hobson – diagram úchylek kruhovitosti (vlevo) a záznam harmonických složek profilu povrchu

## **2.3. Chyby měření**

### **2.3.1. Základní pojmy**

#### **Metrologie**

Je vědní a technická disciplína, zabývající se všemi poznatky a činnostmi, týkající se měření. Je základem jednotného a přesného měření ve všech oblastech vědy, hospodářství, státní správy, obrany, ochrany zdraví a životního prostředí. Metrologii v systému řízení je nutno chápat jako soubor činností spojených s udržováním, evidencí, kalibrací a ověřováním měřidel, tedy tvorby a dodržování metrologického řádu. Jednotné a přesné měření je předpokladem vzájemné důvěry při směně zboží, ale stále více i jednou z nutných podmínek jakékoliv efektivní výroby [2].

#### **Měření**

Je soubor experimentálních úkonů, jejichž cílem je určení hodnoty určité veličiny, tj. určení kvantitativní charakteristiky určitého kvalitativního znaku (vlastnosti) určitého objektu. Opakujeme-li měření za stejných podmínek zjistíme, že výsledky měření se od sebe liší více nebo méně. Toto je způsobeno nepřesnostmi měřicího systému, nedodržováním konstantních podmínek měření a dalšími jinými [2].

#### **Etalon**

Měřidlo nebo měřicí přístroj, ztělesněná míra, referenční materiál nebo měřicí systém, určené k definování, realizování, uchovávání nebo reprodukování jednotky nebo jedné či více hodnot veličiny k použití pro referenční účely (např. etalon hmotnosti 1 kg, etalonová koncová měrka, etalonový ampérmetr) [2].

**Primární etalon** – etalon, který je určen nebo ve velkém rozsahu uznáván jako etalon, který má nejvyšší metrologickou jakost a jehož hodnota je akceptována bez navázání na jiné etalony pro tutéž veličinu (platí jak pro jednotky základní tak odvozené) [2].

**Sekundárního etalon** – etalon, jehož hodnota byla stanovena porovnáním s nějakým primárním etalonem pro tutéž veličinu [2].

#### **Ověřování a kalibrace měřidla**

Je zjištění a potvrzení, že má dané měřidlo požadované metrologické vlastnosti (postup ověřování stanovených měřidel stanoví ministerstvo vyhláškou). O ověření stanoveného měřidla vydá ČMI nebo autorizované metrologické středisko ověřovací list nebo

měřidlo opatří úřední značkou (náležitost ověřovacího listu a grafickou podobu úřední značky stanoví ministerstvo vyhláškou). Měřidla, která mají původ v zemích Evropského společenství se považují za měřidla ověřená dle tohoto zákona, pokud jsou označena značkami platnými v Evropském společenství a stanovená vyhláškou ministerstva [2].

### 2.3.2. Chyby měření

Chyba měření je rozdíl mezi naměřenou hodnotou a hodnotou pravou, výsledek udáváme v jednotkách měřené veličiny [2]:

$$\varepsilon = y - x_o$$

#### Relativní chyba

Relativní chyba je poměr absolutní chyby měření a pravé (konvenčně pravé) hodnoty měřené veličiny [2]:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{x_o} \text{ popř.: } \delta = \frac{\varepsilon}{x_o} \cdot 100[\%]$$

#### Náhodné chyby

Jsou způsobené příčinami náhodného charakteru co do velikosti a směru působení. Náhodné chyby mají při měření ve strojírenství nejčastěji Gaussovo (normální) rozdělení hustoty pravděpodobnosti výskytu. Určíme ji tak, že od výsledné hodnoty měření odečteme střední hodnotu, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže veličiny uskutečněných za podmínek opakovatelnosti [2].

#### Systematická chyba

Střední hodnota, která vzniká z nekonečného počtu měření stejné měřené veličiny uskutečněných za podmínek opakovatelnosti, od které se odečte pravá hodnota měřené veličiny. Tato chyba může být způsobena např. zaokrouhlováním čtených hodnot na hodnoty vyšší nebo konstrukční nepřesnosti přístroje [1].



## 2.4. Stanovení nejistot měření

Pojem nejistota měření je relativně nový a v současné době velmi aktuální. U akreditovaných pracovišť se dle mezinárodních norem, směrnic a pokynů evropských organizací jednoznačně vyžaduje, aby výsledky měření, ověření, kalibrace a zkoušení byly uvedeny s nejistotou dané procedury [2].

Nejistotou se rozumí parametr charakterizující rozsah (interval) hodnot kolem výsledku měření, který můžeme odůvodněně přiřadit hodnotě měřené veličiny, neboť vyjádření výsledků měření je úplné pouze tehdy, pokud obsahuje jak vlastní hodnotu měřené veličiny, tak i nejistotu měření patřící k této hodnotě (viz obr. 2.7). Může se týkat výsledku měření, ale také hodnot odečtených na použitých přístrojích, hodnot použitých konstant, korekce atd., na kterých nejistota závisí [2].



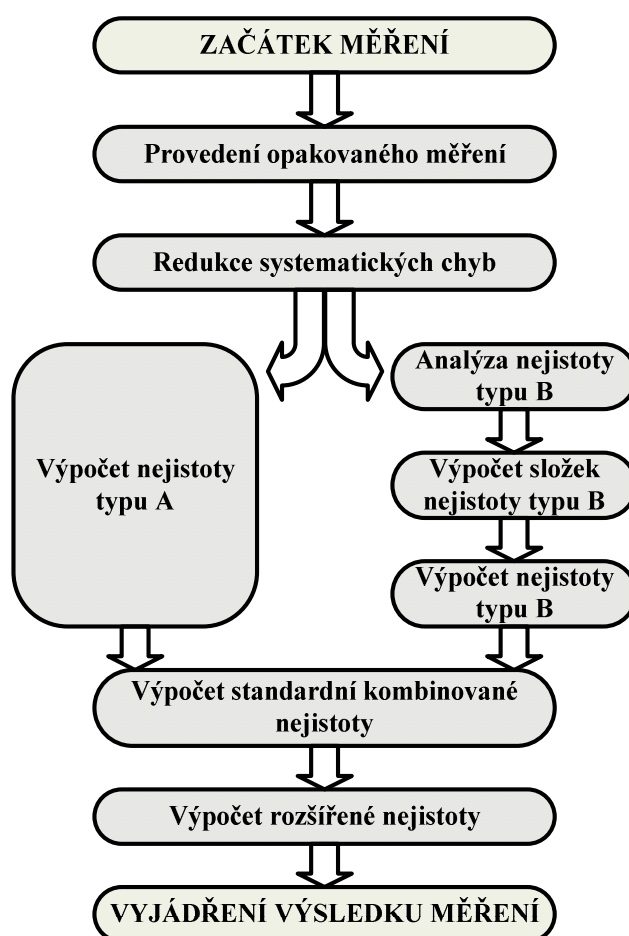
**Obr. 2.7:** Nejistota přidružená k hodnotě [5]

Při výpočtech vyhodnocení nejistoty měření je nejdůležitější vystihnout podstatu prováděného měření, ke kterému slouží sestavení grafického modelu měření. Grafický model zahrnuje vlivy, jenž mohou působit na výsledek měření (viz obr. 2.8). Vlivy jsou označovány jako zdroje nejistoty a způsobují, že výsledek měření nemůžeme charakterizovat pouze jedním číslem.

V praxi existuje obecně mnoho zdrojů nejistoty. Mezi tyto patří:

- ❖ neúplná definice výstupní měřené veličiny,
- ❖ nesprávná realizace definice výstupní měřené veličiny,
- ❖ nesprávný odběr vzorků,
- ❖ nedostatečná znalost vlivu podmínek měření nebo nedokonalé změření,
- ❖ chyba čtení (při čtení údajů především u analogových prostředků),
- ❖ omezená rozlišitelnost měřícího prostředku,

- ❖ nepřesné hodnoty měřících standardů a referenčních materiálů,
- ❖ nepřesné hodnoty konstant a parametrů získaných z vnějších zdrojů,
- ❖ aproximace a předpoklady začleněné do měřících metod a postupů,
- ❖ kolísání hodnot měřené veličiny při opakovaných měřeních za stejných podmínek[4].



**Obr. 2.8:** Schéma vyjádření výsledku měření [5]

### 2.4.1. Stanovení nejistoty typu A

Postup pro stanovení nejistoty typu A lze použít tehdy, pokud bylo za stejných podmínek provedeno několik nezávislých pozorování vstupních veličin. Pokud je měření prováděno s dostatečným rozlišením, bude pozorovatelné rozptýlení získaných hodnot. Označme opakovanou měřenou vstupní veličinu  $X_i$  jako veličinu  $Q$ . Odhad  $x$  hodnoty

veličiny  $Q$ , na základě  $n$  statisticky nezávislých pozorování ( $n > 1$ ), je dán aritmetickým průměrem individuálních napozorovaných hodnot  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) [1]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

**Nejistota měření spojená s odhadem  $\bar{x}$  se stanoví[1]:**

Odhad rozptylu pravděpodobnostního rozdělení hodnot je výběrový rozptyl  $s^2(x)$  hodnot  $x_j$ , který je stanoven dle vztahu:

$$s^2(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

Kladná odmocnina takto stanoveného rozptylu je označována jako výběrová směrodatná odchylka. Nejlepší odhad rozptylu aritmetického průměru  $\bar{x}$  je výběrový rozptyl aritmetického průměru stanovený dle vztahu:

$$s^2(\bar{x}) = \frac{s^2(x)}{n} \quad (3)$$

Jeho (kladná) druhá odmocnina je pak označována jako výběrová směrodatná odchylka průměru. Standardní nejistota  $u(x)$  odhadu  $\bar{x}$  je pak rovna výše uvedené experimentální směrodatné odchylce průměru:

$$u(\bar{x}) = s(\bar{x}) \quad (4)$$

## 2.4.2. Stanovení nejistoty typu B

Postup pro stanovení standardní nejistoty typu B je založen na stanovení nejistoty vztahující se k odhadu  $x_i$  vstupní veličiny  $X_i$  jiným způsobem než statistickou analýzou série pozorování. Příslušná standardní nejistota  $u(x_i)$  je určena odborným úsudkem na základě všech dostupných informací o možné variabilitě veličiny  $X_i$  [1].

**Nejistoty náležící do této kategorie mohou být odvozeny na základě[1]:**

- ❖ údajů z dříve provedených měření,
- ❖ údajů výrobce,
- ❖ zkušenostmi s chováním a vlastnostmi příslušných materiálů a zařízení nebo jejich obecné znalosti,
- ❖ údajů uváděných v kalibračních listech nebo jiných certifikátech,
- ❖ nejistot referenčních údajů převzatých z příruček.

**Rozlišujeme následující případy [1]:**

- a) Pokud je pro veličinu  $X_i$  známá pouze jedna hodnota, jako je např. jedna naměřená hodnota, výsledná hodnota z předchozích měření, referenční hodnota z literatury nebo korekční hodnota, použije se tato hodnota za odhad  $x_i$ . Standardní nejistota  $u(x_i)$  náležící k této hodnotě musí být převzata ze stejného zdroje.
- b) Pokud lze na základě teorie nebo zkušenosti předpokládat pro veličinu  $X_i$  určité pravděpodobnostní rozdělení, je třeba použít odhad  $x_i$  příslušnou očekávanou hodnotu a za příslušnou standardní nejistotu  $u(x_i)$  odmocninu rozptylu tohoto rozdělení.
- c) Pokud lze pro hodnotu veličiny  $X_i$  odhadnout pouze horní a dolní limit  $a_+$ ;  $a_-$  (např. údaj výrobce pro měřicí zařízení, rozmezí teplot, zaokrouhlovací chyby nebo chyby vznikající zkracováním při automatické redukci dat), je třeba použít pro popis její variability rovnoměrného rozdělení. Dle výše uvedeného případu (b) dostáváme vztah:

$$x_i = \frac{1}{2}(a_+ + a_-) \quad (5)$$

pro odhad hodnoty a vztah:

$$u^2(x_i) = \frac{1}{12}(a_+ - a_-)^2 \quad (6)$$

pro druhou mocninu standardní nejistoty.

### **2.4.3. Stanovení kombinované nejistoty**

Po stanovení nejistot typu A a B je pak možné stanovit kombinovanou standardní nejistotu ze vztahu [1]:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (7)$$

#### 2.4.4. Stanovení rozšířené nejistoty

V rámci EAL bylo rozhodnuto, že kalibrační laboratoře akreditované členy EAL musí uvádět **rozšířenou nejistotu měření**  $U$ , stanovenou vynásobením standardní nejistoty  $u(x)$  odhadu  $y$  koeficientem rozšíření  $k$  [1]:

$$U = k * u(x) \quad (8)$$

V případech, kdy lze usuzovat na normální (Gaussovo) rozdělení měřené veličiny a kdy standardní nejistota odhadu  $x$  je stanovena s dostatečnou spolehlivostí, je třeba použít standardní koeficient rozšíření  $k=2$ . Takto stanovená rozšířená nejistota odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Tyto podmínky jsou splněny ve většině případů, s kterými se lze setkat při kalibracích [1].

#### 2.4.5. Vyjádření nejistoty měření

V kalibračních listech je nutné celkový výsledek měření, skládající se z odhadu  $y$  a tomu náležící rozšířené nejistoty  $U$ , uvádět ve tvaru  $(y \pm U)$ . K tomuto vyjádření musí být v běžných případech připojena vysvětlující poznámka ve tvaru [1]:

*Uvedená rozšířená nejistota měření je součinitelem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnostnímu pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA4/02[1].*

### **3. Návrh metodiky měření konkrétní součásti**

#### **3.1. Zákon o metrologii a související předpisy**

##### **Zákon č.119/2000 Sb. - o metrologii**

Právním základem metrologie je zákon č.119/2000 Sb. – o metrologii s poslední změnou 226/2003 Sb. Účelem zákona je úprava práv a povinností fyzických osob, které jsou podnikateli, a právnických osob a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření [7]. Subjekty a orgány státní správy jsou povinny používat základní měřicí jednotky, jejich označování, násobky a díly, stanovené vyhláškou. Základními měřicími jednotkami jsou: jednotka délky – metr (m), jednotka hmotnosti – kilogram (kg), jednotka času – sekunda (s), jednotka elektrického proudu – ampér (A), jednotka termodynamické teploty – kelvin (K), jednotka látkového množství – mol (mol), jednotka svítivosti – kandela (cd) [2].

##### **Vyhláška č.262/2000 Sb. - Ministerstva průmyslu a obchodu**

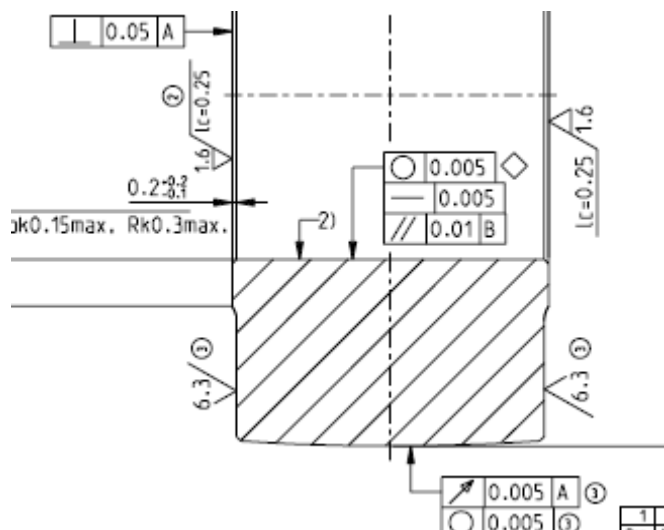
Vyhláška zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a měření. Vyhláška obsahuje např. Postup při schvalování typu stanovených měřidel, Náležitosti certifikátu a značky schválení typu, Omezení schválení typu, Postup při ověřování, Dobu platnosti ověření, Autorizaci metrologických středisek a další[7].

#### **3.2. Popis a použití měřené součásti v praxi**

##### **3.2.1. Popis měřené součásti**

Mnou zvolená a kontrolovaná součástka se v závodě Timken označuje VT-601-343 a nazývá se VT kladka (viz obr. 3.1). Tato zvolená součástka se používá ve vozech SCANIA P420/R420 v motorové části, jako kladka (protikus vačky zdvihátka) (viz Příloha č.6) .

Součástka je vyráběna z ocelových tyčí, soustružena na základní tvar a kalena do solné lázně. Následně dochází ke kontrole kruhovitosti na VK(je nutné předat do metrologické laboratoře, kde měření probíhá na kruhoměru) dále pak dokončovacími operacemi broušením, soustružením, konzervací, balením a expedicí k zákazníkovi. Pro zlepšení a efektivitu výrobního procesu jsem navrhnul tuto kontrolu provádět na souřadnicovém měřícím přístroji.



**Obr. 3.1:** Výkres výřezu součásti[5]

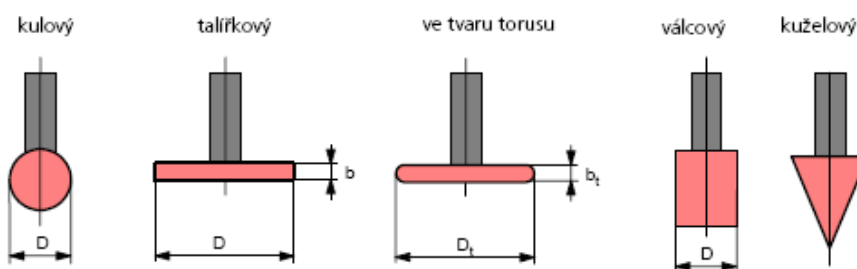
### 3.2.2. Souřadnicový měřicí přístroj pro měření kruhovitosti

#### ScanMax

Jedná se o velmi univerzální měřicí přístroj, který má široké uplatnění díky svým schopnostem měření. Lze s ním kontrolovat rozměr, tvar a poloha, přičemž máme k dispozici celou řadu rozmanitých funkcí:

- a) zjistit délkové rozměry na osu X,Y,Z, rovinu XY a v prostoru XYZ,
- b) zjistit úhlové rozměry do roviny XY, doplňkový úhel ( $180^\circ - XY$ ), úhel v prostoru a doplňkový úhel v prostoru ( $180^\circ - XYZ$ ),
- c) tolerovat úchytky tvaru a polohy podle normy ISO 1101 (soustřednost/souosost, symetrie, kruhovitost, válcovitost, přímost, rovinnost) – tyto vše lze graficky znázornit.

Tento přístroj je vybaven vysunovacím ramenem, které lze osazovat vyměnitelnými snímači. Můžeme volit z těchto typů snímačů (viz obr. 3.2.).



**Obr. 3.2:** Typy měřících snímačů [8]

Tyto snímače jsou již od výrobce skalibrovány a hodnoty kalibrací jsou uloženy v paměti přístroje. Platnost této kalibrace je nastavena na 30 dnů. Po uplynutí této doby musí být provedena rekaliibrace snímačů. Za tímto účelem jsou použity dva kalibrační normály:

- ❖ kuželové prizma



**Obr. 3.3:** Kuželové prizma[8]

- ❖ kruhový normál s kalibračním kroužkem



**Obr. 3.4:** Kruhový normál s kalibračním kroužkem[8]

Součástí přístroje je také ovládací stůl s PC a monitorem. Veškeré metody měření nastavování kalibrací atd. jsou ovládány programem Scanware-pro, který řídí, vyhodnocuje a zpracovává naměřené údaje. Tyto údaje je možné ukládat, popřípadě tisknout ve formě měřících protokolů (viz Příloha č.7) .





**Obr. 3.5:** Popis souřadnicového měřicího přístroje ScanMax (fa.Carl Zeiss)[8]

### 3.2.3. Formtester MMQ 44 CNC (kruhoměr)

Jedná se o velmi přesný plně automatický měřicí přístroj (viz obr. 3.6), který slouží ke kontrole úchylek tvaru a polohy dle DIN ISO 1101.



**Obr. 3.6:** Formtester MMQ 44 CNC (kruhoměr)

**Přístroj se skládá z:**

- ❖ posuvného ramene měřicí rozsah (x, z): 180, 500 mm,
- ❖ otočného podstavce ( rychloupínací přípravek),
- ❖ měřicího ramínka T7W, otáčeného kolem osy o 360 stupňů (viz obr. 3.7),

- ❖ dalších zařízení jako je PC s ovládacím a vyhodnocovacím programem eventuelně tiskárna.
- ❖ Výsledek měření je možné uložit popřípadě tisknout (viz Příloha č.8)



**Obr. 3.7:** Upínky

### **3.3. Příprava na měření**

#### **3.3.1. Prostředky potřebné pro samotné měření**

K samotnému měření je zapotřebí teploměr, čisticí prostředky, souřadnicový měřicí přístroj a Formtester MMQ 44 CNC.

##### **Čisticí prostředky**

Na čištění měřené součástky použijeme lékárenský benzín a optickou utěrku, popřípadě konzervační olej pro odstranění hrubších nečistot.

##### **Digitální teploměr**

Teplota měření bude zachycována digitálním teploměrem s měřicím rozsahem 18 až 22 °C (s dílkem stupnice 0,1 °C), který bude umístěn v těsné blízkosti měřené součástky.

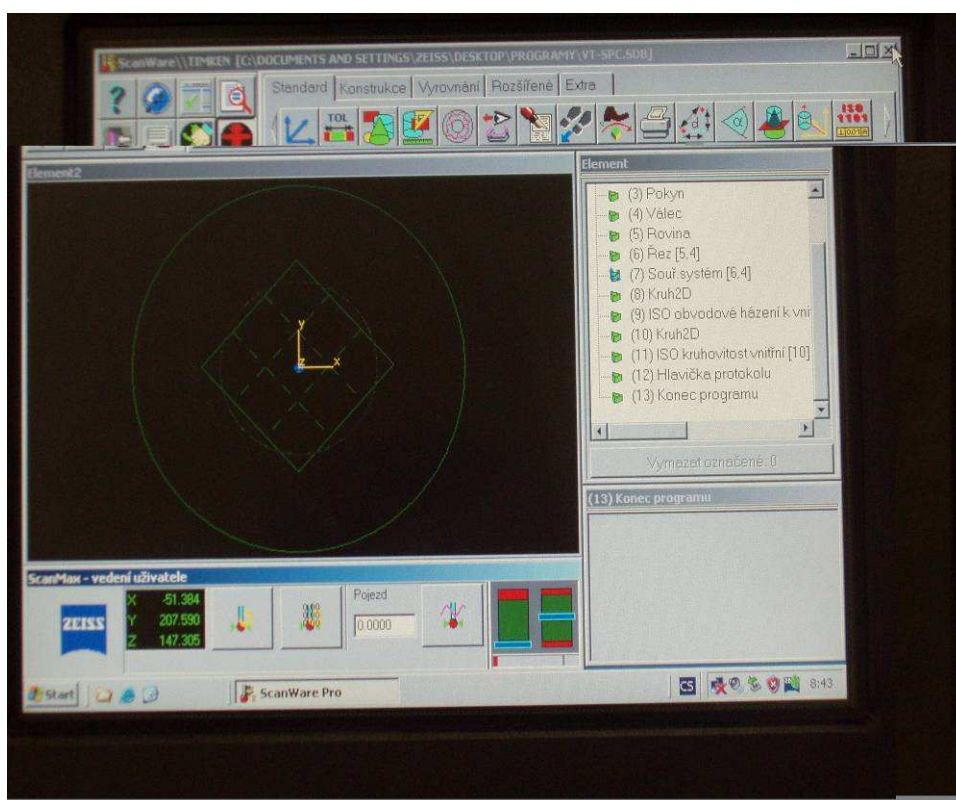
##### **Příprava měřené součástky na měření**

Musíme dbát na to, aby měřená součástka neměla na měřené ploše viditelné poškození (vrypy) a byla bez stop koroze.

Měřenou součástku očistíme od nečistot a konzervačních prostředků umytím v lékárenském benzínu a měřená plocha se důkladně přešetří optickou utěrkou. Z důvodu teplotního ustálení součástky byly tyto úkony vykonány 24 hodin před samotným měřením, tím se přes noc teplotně stabilizovala na teplotu laboratoře na upínacím stole souřadnicového měřicího přístroje.

### 3.3.2. Nastavení souřadnicového měřidla na měření

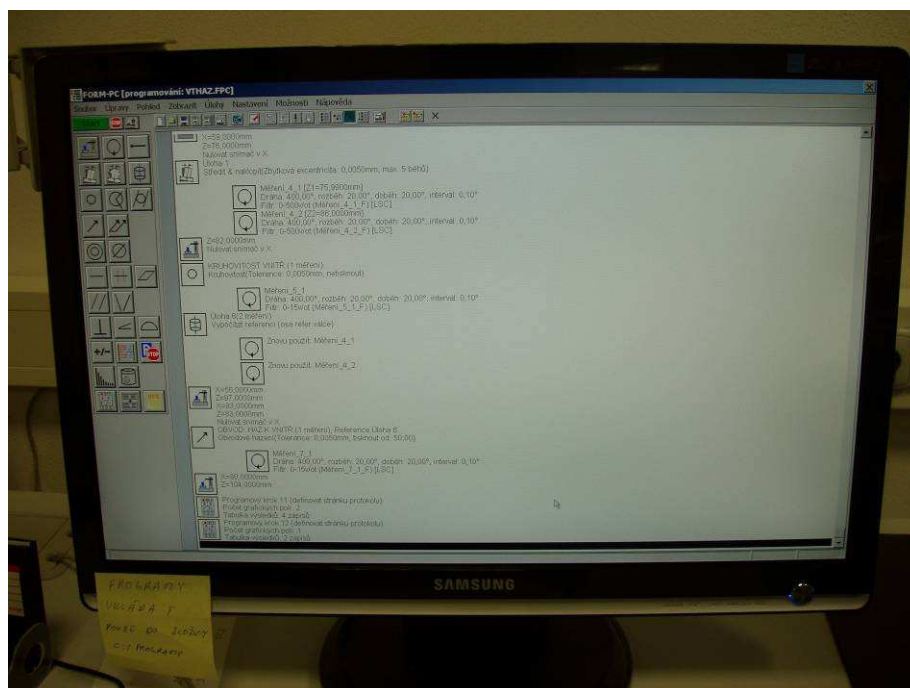
Pro naše měření odchylky kruhovitosti LCS a dle daného typu součástky volíme kulový snímač. Program jej automaticky rozpozná a nastaví jeho parametry. Na upínací stůl řádně připevníme suport. Provedeme vizuální kontrolu poškození a znečištění, v případě závady, závadu nebo nečistotu odstraníme. Při tomto upnutí musíme dát pozor, abychom součástku nezdeformovali, proto stačí jemné dopnutí, které zamezí případnému pohybu součástky. Dále jsme v programu Scanware-pro museli nastavit pracovní postup (viz obr. 3.8), který je možné využívat pro tento druh měření. Při jeho spuštění obsluhu sám nabádá a vede k jednotlivým krokům samotného měření.



Obr. 3.8: Pracovní postup měření kruhovitosti LSC

### 3.3.3. Nastavení Formtester MMQ 44 CNC na měření

Pro náš účel měření kruhovitosti LSC byl v programu pro měřicí přístroj Formtester MMQ 44 CNC vytvořen pracovní postup (viz obr. 3.9), který je uložen v paměti počítače a je možné ho kdykoliv zpětně pro daný typ měřené součástky využít.



**Obr. 3.9:** Pracovní postup měření kruhovitosti LSC

### Nastavení upínacího sklíčidla na vřetení

- ❖ dle velikosti průměru měřené součásti jsme vybrali upínací sklíčidlo,
- ❖ provedli vizuální kontrolu poškození a znečištění, v případě závady závadu nebo nečistotu odstranili,
- ❖ sklíčidlo jsme přišroubovali ke vřetenu a jemně dotáhli.

### Nastavení dotyku měřidla

- ❖ dle velikosti a charakteru naší měřené součástky jsme vybrali vhodné snímací rameno,
- ❖ zkontrolovali stav opotřebení snímacího ramene,
- ❖ rameno připevnili pomocí magnetu na snímač přístroje,
- ❖ v programu nastavení přístroje jsme vybrali ze seznamu ramínek to, které jsme připevnili magnetem k snímači přístroje.

Pro účel našeho měření byl v měřicím softwaru vytvořen pracovní postup, který se skládá z následujících kroků: V programu vybereme metodu měření kruhovitosti LSC a spustíme program. Měřicí přístroj si automaticky nastaví potřebné parametry dle zvoleného programu a provede následující úkony.

### **Středění a naklápění součásti**

- ❖ v měřícím software zvolíme režim naklopení a středění,
- ❖ nastavíme si maximální excentricitu součásti,
- ❖ nastavíme maximální počet chodů středění,
- ❖ zadáme do nastavení výšky (souřadnice) ve kterých má být součást vystředěna,
- ❖ zadáme naklonění snímacího ramene,
- ❖ filtr při středění nastavíme na 50vot,
- ❖ snímačem najedeme na součást,
- ❖ spustíme středění.

### **Výpočet osy obrobnku**

- ❖ v měřícím software zvolíme režim výpočet osy,
- ❖ zadáme počet řezů (měření) pro výpočet,
- ❖ zadáme minimální a maximální souřadnice pro výpočet osy (minimální a maximální výška měření),
- ❖ zadání filtru 50vot,
- ❖ spustíme měření.

Tento postup zůstane uložen v počítači měřícího přístroje a díky tomu je možné jej kdykoliv zpětně vyvolat.

### **3.3.4. Nachystání teploměru**

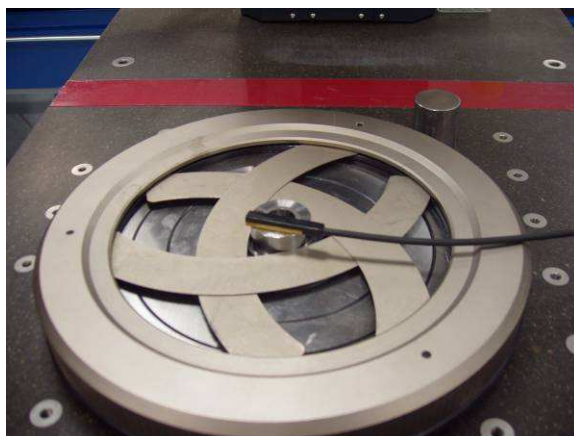
U obou případů měření a to měření na souřadnicovém měřícím přístroji a na Formtester MMQ 44 CNC byl digitální teploměr položen na stolku v blízkosti obou měřidel, aby byla zaručena dobrá viditelnost na jeho displej. Čidlo pro měření teploty bylo umístěno co nejbližší k suportům, kde byla umístěna měřená součástka.

### **3.4. Návrh metody měření**

Po splnění všech kroků uvedených v předchozí kapitole je možné začít uvažovat o samotné metodice měření naší součástky. Musíme se hlavně vyvarovat zbytečných chyb měření a snažit se je eliminovat na minimum. Největší pozor musíme dát na chyby způsobené změnou teploty okolí a přítomností obsluhy.

### 3.4.1. Samotné měření na souřadnicovém měřicím přístroji

Součástka byla upevněna do suportu (viz obr. 3.10.). Při tomto upevnění musíme dbát na velikost síly dotažení, aby nedošlo k deformaci součástky a tím pádem ke znehodnocení celého měření. Sílu dotažení součástky stačí ověřit manuálně a to způsobem, že se pokusíme danou součástku se suportu vyjmout. Pokud takto nelze učinit, je upevnění dostačující. Na ovládacím panelu zvolíme metodu měření a s uchopením kloubového ramene měřicího přístroje tento proces měření spustíme. Tím dojde k započetí celého procesu měření, při kterém nás program nabádá a krok za krokem vede, co v daném okamžiku máme provádět nebo-li snímací hlavou provádíme jednotlivé činnosti. Pokud se stane, že v některém z těchto kroků uděláme chybu, program nás vyzve, abychom daný úkon zopakovali. Po dokončení samotného měření se nám na obrazovce zobrazí protokol o měření (viz Příloha č.7), ten je možné uložit popř. vytisknout.

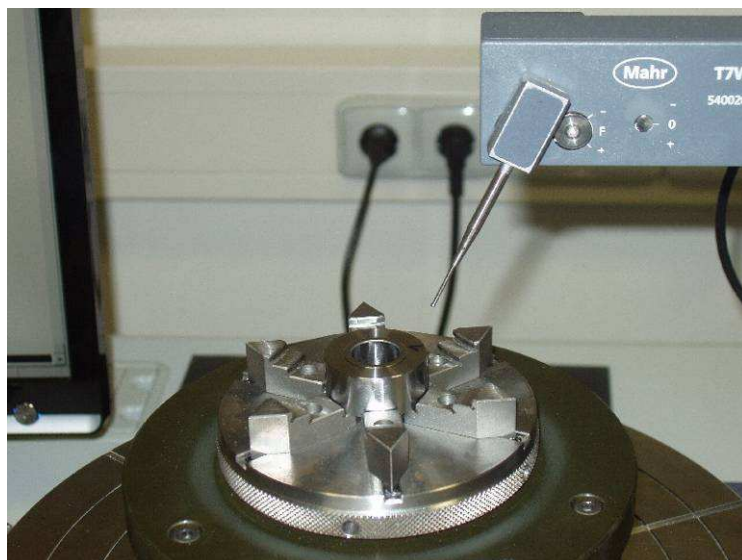


**Obr. 3.10:** Suport pro upevnění součástky

### 3.4.2. Samotné měření na Formtester MMQ 44 CNC

Součástku upneme do upínacího sklíčidla (viz obr. 3.11) a jemně dotáhneme, aby nedošlo k deformaci měřené součástky. V měřicím softwaru vybereme již předem nadefinovaný postup pro naše měření a spustíme. Měřicí přístroj provede nadefinované úkony a vyhodnotí výsledek měření. Tento výsledek se nám zobrazí graficky na monitoru (viz Příloha č. 8) a je možné jej uložit nebo vytisknout.





**Obr. 3.11:** Upínací sklíčidlo

## 4. Diskuze výsledků

### 4.1. Realizace samotného měření dle návrhu

Samotné měření kruhovitosti LSC zvolené součástky jsem prováděl dle návrhu uvedeného a popsaného v předchozí kapitole. Snažil jsem se dodržovat výše popsané postupy a také se vyvarovat chyb, které by mohli nepřímo ovlivnit celý proces měření a jeho vyhodnocení.

#### 4.1.1. Informace o měření dané součástky na souřadnicovém měřicím přístroji

Byl měřen ložiskový kroužek s označení VT-601-343. Počet měření provedených na tomto kroužku bylo celkem třicet, abychom získali co možná nejpřesnější výsledek měření a eliminovali veškeré chyby měření. Odchylka kruhovitosti LSC se na daném ložiskovém kroužku měřila ve středu jeho plochy. Základní informace o měření (viz tab. 4.1).

**Tabulka 4.1:** Informace o měření

<b>Typ měřené součástky</b>	VT-601-343
<b>Počet měření</b>	30
<b>Datum měření</b>	16. 12. 2008
<b>Teplota prostředí</b>	20,08 °C
<b>Změna teploty vzduchu za 1 hodinu</b>	0,3 °C

#### 4.1.2. Informace o měření dané součástky na Formtester MMQ 44 CNC

Byl měřen ložiskový kroužek s označení VT-601-343. Počet měření provedených na tomto kroužku bylo celkem třicet, abychom získali co možná nejpřesnější výsledek a eliminovali veškeré chyby měření. Odchylka kruhovitosti LSC se na daném ložiskovém kroužku měřila ve středu jeho plochy. Základní informace o měření (viz tab. 4.2).



**Tabulka 4.2:** Informace o měření

<b>Typ měřené součástky</b>	VT-601-343
<b>Počet měření</b>	30
<b>Datum měření</b>	16. 12. 2008
<b>Teplota prostředí</b>	20,1 °C
<b>Změna teploty vzduchu za 1 hodinu</b>	0,4 °C

#### 4.1.3. Přehled naměřených hodnot

Všechny naměřené hodnoty ložiskového kroužku VT-601-343 jsem vepsal do tabulek (viz tab. 4.3 a tab. 4.4).

**Tabulka 4.3:** Naměřené hodnoty kruhovitosti LSC na souřadnicovém měřícím přístroji

<b>Měření kruhovitosti LSC na souřadnicovém měřícím přístroji(mm)</b>			
<b>Číslo měření</b>	<b>Naměřená hodnota</b>	<b>Číslo měření</b>	<b>Naměřená hodnota</b>
<b>1</b>	0,0034	<b>16</b>	0,0027
<b>2</b>	0,0029	<b>17</b>	0,0026
<b>3</b>	0,0027	<b>18</b>	0,0023
<b>4</b>	0,0029	<b>19</b>	0,0027
<b>5</b>	0,0031	<b>20</b>	0,0032
<b>6</b>	0,0028	<b>21</b>	0,0027
<b>7</b>	0,0030	<b>22</b>	0,0034
<b>8</b>	0,0027	<b>23</b>	0,0023
<b>9</b>	0,0023	<b>24</b>	0,0027
<b>10</b>	0,0030	<b>25</b>	0,0024
<b>11</b>	0,0029	<b>26</b>	0,0028
<b>12</b>	0,0027	<b>27</b>	0,0032
<b>13</b>	0,0028	<b>28</b>	0,0020
<b>14</b>	0,0030	<b>29</b>	0,0029
<b>15</b>	0,0026	<b>30</b>	0,0023

**Tabulka 4.4:** Naměřené hodnoty kruhovitosti LSC na kruhoměru

Měření kruhovitosti LSC na kruhoměru(mm)			
Číslo měření	Naměřená hodnota	Číslo měření	Naměřená hodnota
1	0,00076	16	0,00081
2	0,00078	17	0,00079
3	0,00078	18	0,00080
4	0,00079	19	0,00081
5	0,00077	20	0,00078
6	0,00078	21	0,00079
7	0,00080	22	0,00079
8	0,00081	23	0,00077
9	0,00079	24	0,00077
10	0,00077	25	0,00078
11	0,00076	26	0,00077
12	0,00082	27	0,00079
13	0,00084	28	0,00078
14	0,00082	29	0,00079
15	0,00080	30	0,00079

## 4.2. Stanovení nejistot

V nadcházejících kapitolách budou popsány jednotlivé výpočty nejistot měření pro ložiskový kroužek VT-601-343 při měření odchylek kruhovitosti na souřadnicovém měřicím přístroji a měření na Formtester MMQ 44 CNC. Dále na konci každé kapitoly budou uvedeny výsledky hodnot měření pro jejich zhodnocení.

## 4.3. Stanovení nejistot pro souřadnicový měřicí přístroj

### 4.3.1. Stanovení nejistoty typu A

Výpočet výběrového průměru

Spočítá se dosazením naměřených hodnot přímo do vzorce (1):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{x} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} 0,083 = \frac{0,083}{30} = 0,002766667 \text{ mm}$$

### Výpočet směrodatné odchylky

Určí se jako kladná odmocnina z výběrového rozptylu hodnot (2):

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{29} \sum_{i=1}^{30} (0,0034 - 0,002766667)^2 + \dots + (0,0023 - 0,002766667)^2}$$
$$= 0,000332528 \text{ mm} = 0,332528 \text{ }\mu\text{m}$$

### Výpočet směrodatné odchylky střední hodnoty

Jedná se o druhou odmocninu z výběrového rozptylu aritmetického průměru hodnot.

Vypočte se dosazením do vzorce (3):

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

$$s(\bar{x}) = \frac{0,000332528}{\sqrt{30}} = 0,000060711 \text{ mm} = 0,060711 \text{ }\mu\text{m}$$

### Výpočet standardní nejistoty $u_A$

Standardní nejistota  $u_A$  je rovna směrodatné odchylce střední hodnoty (4):

$$u_A(\bar{x}) = s(\bar{x})$$

$$u_A = 0,060711 \text{ }\mu\text{m}$$

## 4.3.2. Stanovení nejistoty typu B

Při výpočtu této nejistoty musíme zohlednit příslušné rozšířené nejistoty 3D měřidla a teplotní korekce.

### Teplotní korekce ( $\delta IT$ )

Během celého měření dbáme na to, aby byla udržována a monitorovaná teplota měřené součástky konstantní. Z podmínek v měrové laboratoři lze zjistit, že odchylky teploty měřené součástky od teploty okolí zůstávají v rozmezí  $\pm 0,2$  K. Dle měření je okolní teplota v měřící místnosti v rozmezí  $\pm 0,5$  K.

Celkový výsledek a příspěvek k nejistotě je zapsán v tabulce 4.5.

**Tabulka 4.5:** Výpočet nejistoty  $u_B$

Vliv nejistoty	Veličina	Vyčíslení	Příspěvek k nejistotě
Laboratoře	$\delta l_{TA}$	zanedbáváme	
Ložiskového kroužku	$\delta l_{TX}$	zanedbáváme	
Korekce tepl. vlivů	$\delta l_T$	zanedbáváme	
Nejistota 3D měřidla	$\delta l_i$	(příspěvek k nejistotě)	1,7 $\mu m$
<b>Celková nejistota <math>u_B</math>:</b>			<b>1,7 <math>\mu m</math></b>

U stanovení příspěvků k nejistotě typu B se do výpočtu nezahrnuje vliv nejistoty etalonového kroužku, protože ten se při tomto druhu měření nepoužívá.

Vliv teplotních vlivů laboratoře  $\delta l_{TA}$  a ložiskového kroužku  $\delta l_{TX}$  se zanedbává jelikož hodnota je velmi malá a na výslednou hodnotu nemá až tak zásadní vliv.

Nejistota 3D měřidla se zjistila z kalibračních listů pro dané měřidlo.

#### 4.3.3. Stanovení kombinované nejistoty

Určení kombinované standardní nejistoty (5)

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

$$u_C = \sqrt{0,060711^2 + 1,7^2} = 1,7011 \mu m$$

#### 4.3.4. Stanovení rozšířené nejistoty

Tuto nejistotu měření  $U$  stanovíme vynásobením kombinované nejistoty  $u_C$  koeficientem rozšíření  $k=2$  (6):

$$U = k * u_C$$

$$U = 2 * 1,7011 = 3,4022 \mu m$$

### Výsledek měření [1]:

Výsledek se pak zapisuje ve tvaru (střední hodnota  $\pm$  hodnota nejistoty) ve stejných jednotkách:

$$(0,0028 \pm 0,0034) \text{ mm}$$

*Uvedená rozšířená nejistota měření je součinitelem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnostnímu pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA4/02.*

## 4.4. Stanovení nejistot pro Formtester MMQ 44 CNC

### 4.4.1. Stanovení nejistoty typu A

#### Výpočet výběrového průměru

Spočítá se dosazením naměřených hodnot přímo do vzorce (1):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$
$$\bar{x} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} 0,02368 = \frac{0,02368}{30} = 0,000789 \text{ mm}$$

#### Výpočet směrodatné odchylky

Určí se jako kladná odmocnina z výběrového rozptylu hodnot (2):

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$
$$s(x) = 0,0000187420 \text{ mm} = 0,018742 \mu\text{m}$$

#### Výpočet směrodatné odchylky střední hodnoty

Jedná se o druhou odmocninu z výběrového rozptylu aritmetického průměru hodnot, vypočte se dosazením do vzorce (3):

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$
$$s(\bar{x}) = \frac{0,0000187420}{\sqrt{30}} = 0,0000034218 \text{ mm} = 0,0034218 \mu\text{m}$$

### Výpočet standardní nejistoty $u_A$

Standardní nejistota  $u_A$  je rovna směrodatné odchylce střední hodnoty (4):

$$u_A(\bar{x}) = s(\bar{x})$$

$$u_A = 0,0034218 \mu m$$

### 4.4.2. Stanovení nejistoty typu B

Při výpočtu této nejistoty musíme zohlednit příslušné rozšířené nejistoty měřidla Formtester MMQ 44 CNC dále pak musíme zohlednit teplotní korekce.

#### Teplotní korekce ( $\delta l_T$ )

Během celého měření dbáme na to, aby byla udržována monitorovaná teplota měřené součástky konstantní. Z podmínek v měrové laboratoři lze zjistit, že odchylka teploty měřené součástky od teploty okolí zůstávají v rozmezí  $\pm 0,2$  K. Dle měření je okolní teplota v měřicí místnosti v rozmezí  $\pm 0,5$  K.

Celkový výsledek a příspěvek k nejistotě je zapsán v tabulce 4.6.

**Tabulka 4.6:** Výpočet nejistoty  $u_B$

Vliv nejistoty	Veličina	Vyčíslení	Příspěvek k nejistotě
Laboratoře	$\delta l_{TA}$	zanedbáváme	
Ložiskového kroužku	$\delta l_{TX}$	zanedbáváme	
<b>Korekce tepl. vlivů</b>	$\delta l_T$	zanedbáváme	
<b>Nejistota kruhoměru</b>	$\delta l_i$	(příspěvek k nejistotě)	0,16 $\mu m$
<b>Celková nejistota <math>u_B</math>:</b>			<b>0,16 <math>\mu m</math></b>

U stanovení příspěvků k nejistotě typu B se do výpočtu nezahrnuje vliv nejistoty etalonového kroužku, protože ten se při tomto druhu měření nepoužívá.

Vliv teplotních vlivů laboratoře  $\delta l_{TA}$  a ložiskového kroužku  $\delta l_{TX}$  se zanedbává jelikož hodnota je velmi malá a na výslednou hodnotu nemá až tak zásadní vliv.

Nejistota měřidla Formtester MMQ 44 CNC se zjistila z kalibračních listů pro dané měřidlo.

#### 4.4.3. Stanovení kombinované nejistoty

Určení kombinované standardní nejistoty (5)

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$
$$u_C = \sqrt{0,0034218^2 + 0,16^2} = 0,16 \mu m$$

#### 4.4.4. Stanovení rozšířené nejistoty

Tuto nejistotu měření  $U$  stanovíme vynásobením kombinované nejistoty  $u_C$  koeficientem rozšíření  $k=2$  (6):

$$U = k * u_C$$
$$U = 2 * 0,16 = 0,32 \mu m$$

#### Výsledek měření [1]:

Výsledek se pak zapisuje ve tvaru (střední hodnota  $\pm$  hodnota nejistoty) ve stejných jednotkách:

$$(0,000789 \pm 0,00016) \text{ mm}$$

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinitelem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnostnímu pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA4/02.

#### 4.5. Přehled vypočítaných nejistot

**Tabulka 4.7:** Přehled vypočtených nejistot ložiskového kroužku VT-601-343

Typ měřidla	Výběrový průměr	Nejistota typu A	Nejistota typu B	Kombinovaná nejistota	Rozšířená nejistota
	$\bar{x}$ [mm]	$u_A$ [ $\mu m$ ]	$u_B$ [ $\mu m$ ]	$u_C$ [ $\mu m$ ]	$U$ [ $\mu m$ ]
3D měřidlo	0,0028	0,060711	1,7	1,7011	3,1022
Formtester MMQ 44 CNC	0,000789	0,0034218	0,16	0,16	0,32

#### 4.6. Výsledek měření

Cílem měření bylo stanovit vhodnost užití souřadnicového měřicího přístroje pro využití k měření kruhovitosti metodou LSC v porovnání s přesnějším měřidlem k tomuto určenému a to Formtester MMQ 44 CNC. Tyto výsledky zhodnotit vypočítáním nejistot měření jednotlivých měřidel. K tomuto vypočítat rozšířenou nejistotu, která charakterizuje interval hodnot kolem výsledků měření. Tyto úkoly byly splněny a výsledky mého výpočtu jsou shrnuty do tabulky (viz tab. 4.8).

**Tabulka 4.8:** Tabulka výsledků

Typ měřidla	Kruhovitost / tolerance	Výsledek	Závěr
	- / [μm]	$\bar{x}$ [mm]	
VT-600-343			
3D měřidlo	- / 5	(0,0028 ± 0,0034) mm	nevyhovuje
Formtester MMQ 44 CNC	- / 5	(0,000789 ± 0,00016) mm	vyhovuje



## 5. Technicko ekonomické zhodnocení

### 5.1. Technické zhodnocení

Z výpočtů nejistot měření je zřejmé, že souřadnicový měřicí přístroj ScanMax (fa. Carl Zeiss) je spíše dílenské měřidlo a hodnoty naměřené i vypočítané tomu dokonce napovídají. V porovnání s laboratorním měřidlem Formtester MMQ 44 CNC, které je přímo pro měření úchylek tvaru a polohy určené, je přesnost měřidla o řád vyšší.

Navzdory těmto faktům je možné souřadnicový měřicí přístroj užít v podmínkách Timken k měření kruhovitosti na VK, kde je tolerance této odchylky 50  $\mu\text{m}$ , jelikož se jedná o polotovár a dále se zpracovává. Výsledek výpočtu na finálním produktu činí hodnotu 6,2  $\mu\text{m}$  a dle toho lze dané měřidlo použít pro danou mezioperační kontrolu, která se doposud prováděla v metrologické laboratoři na zakázku VK. Ta je nucena zadat toto měření pracovníkům metrologické laboratoře.

Díky mému výsledku měření a výpočtům celý tento časově náročný proces odpadne a bude možné toto měření provádět na VK, kde bude souřadnicový přístroj umístěn.

### 5.2. Ekonomické zhodnocení

Vzhledem k výše zmíněným údajům lze také vyčíslit časové úspory (viz tab. 5.1) a finanční úspory (viz tab. 5.2), které vznikly s umístěním souřadnicového měřicího přístroje na VK, jelikož bylo nutné zadávat měření VT kladek metrologické laboratoři a to v počtu sedmi zakázek po dvou kusech za jednu pracovní směnu.

**Tabulka 5.1:** Časová úspora

Typ měřidla	Počet součástek za 1 prac. směnu	Počet Nrmin / na 1 součástku	Počet Nrmin / na 1 den	Časová úspora při použití 3D měřidla	
				Úspora na 1 den v Nrmin	Úspora na 1 rok ve dnech (prac. fond 245 dnů)
Formtester MMQ 44 CNC	14	10	140	56	9,52
3D měřidlo	14	6	84		

Časová úspora při použití souřadnicového měřicího přístroje pro daný typ metody měření kruhovitosti oproti měření na kruhoměru činí 9,52 dnů.

**Tabulka 5.2:** Finanční úspora

Typ měřidla	Počet součástek za 1 prac. směnu	Hod. mzdová sazba / 1 dělníka v Kč	Počet Kč na 1 Nrmin	Počet Kč na 1. prac. směnu	Finanční úspora při použití 3D měřidla	
					Úspora na 1 den v Kč	Úspora na 1 rok v Kč (prac. fond 245 dnů)
Formtester MMQ 44 CNC	14	160	2,66	373,33	205,33	50 305,85
3D měřidlo	14	120	2	168		

Finanční úspora při použití souřadnicového měřicího přístroje pro daný typ metody měření kruhovitosti oproti měření na kruhoměru činí 50 305,85 Kč. Zde jsme vycházeli z jednosměnného pracovního provozu a zvažovali časové úspory (viz tab. 5.1).

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjištění vhodnosti použití souřadnicového měřicího přístroje pro měření kruhovitosti ve společnosti Timken Česká republika, s.r.o.

V úvodu mé práce jsem chtěl připomenout problematiku měření odchylek kruhovitosti, obecné parametry a způsoby jejího měření, důležitost použití vhodných měřidel a jejich aplikace na jednotlivé metody. Také jsem uvedl problematiku chyb, které ovlivňují samotné měření a postup stanovení nejistot měření, dle kterých jsem v početní části postupoval při vlastních výpočtech. Ty mi posloužily k určení vhodnosti použití daného měřidla.

V následující kapitole jsem popsal měřicí přístroje jako je souřadnicový měřicí přístroj a kruhoměr, který mi posloužil jako experimentálně přesné měřidlo k ověření správnosti měření a obecného pohledu na výsledky vypočítaných nejistot pro konečné porovnání, jelikož dané měření je prováděno na tomto přesném měřidle. Také jsem se zde zmínil o vlastní měřené součástce VT kladce, jak z hlediska její výroby (obecný technologický postup), tak i hlediska funkčního (požití v praxi). Tato úvodní teoretická část práce je spíše informačního charakteru.

V praktické části jsem popsal jednotlivé postupy měření na daných měřidlech, samotnou přípravu měřidla a měřené součástky na měření. Na co se musí dbát, aby nedocházelo k chybám a jaké postupy dodržovat pro vlastní metodiku měření. Součástí tohoto bylo nastavení postupu měření na obou měřidlech, které je možné do budoucnosti pro danou metodu a součástku využívat, jelikož postup je uložen v programu obou měřidel a pracovník si jej kdykoli může vyvolat a spustit samotné měření.

Díky výsledkům nejistot v početní části jsem mohl dále stanovit užití měřidla k účelu měření kruhovitosti na VK a to po základních operacích soustružení, vrtání, frézování, kde je požadovaná přesnost menší a tudíž dané měřidlo vyhovuje. V poslední kapitole jsou spočítány časové a finanční úspory pro použití souřadnicového měřicího přístroje ScanMax pro VK. Věřím, že mnou zjištěné úspory poslouží k realizaci mého návrhu a bude souřadnicové měřicí zařízení užito pro daný typ měření na VK, kde bude využito v maximální možné míře.

## Použitá literatura

- [1] DOKUMENT AE4/02: *Vyjadřování nejistot při kalibracích*. Praha: Český normalizační institut Praha, 2001. 70s. ISBN 80-7283-054-6.
- [2] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie část 1*. OSTRAVA: VŠB-TU Ostrava, 2004. 112s. ISBN 80-248-06711-1.
- [3] NORMA ČSN ISO 4291: *Metody hodnocení úchylek kruhovitosti – měření změn poloměru* Praha: ČNI Praha, 1994.
- [4] PROF. ING. KAREL HRUŠKA, DRSC., ING. JOSEF BRADÍK. *Stanovení nejistot při měření parametrů jakosti*. Blansko: VUT Brno, 2001. 113 s. ISBN 80-214-1656-1
- [5] Podniková literatura (manuály k měřícím přístrojům).
- [6] MM Průmyslové spektrum (MM 2007 / 6, 30. října 2007 ).[online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/optimalizace-mereni-kruhovitosti-povrchu>
- [7] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.[online]. Dostupné z: [http://www.unmz.cz/cz/4/505\\_90\\_prac.htm](http://www.unmz.cz/cz/4/505_90_prac.htm)

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi CSc. za poskytnutí odborných rad, dále mému konzultantovi Vladanu Němcovi, Ing. Petru Šmérkovi a v neposlední řadě jeho spolupracovníkům ze společnosti Timken s.r.o. Olomouc za poskytnutí materiálů o společnosti a věnovaný čas na umožnění zpracování bakalářské práce v podniku.

V Ostravě 2. května. 2009

.....

David Irišek

## Seznam příloh

Příloha č. 1: Certifikáty firmy Timken

Příloha č. 2: Vyhodnocení kruhovitosti od středu nejmenších čtverců,  $\Delta Z_q^6$

Příloha č. 3: Vyhodnocení kruhovitosti od středu nejmenšího pásma (mezikruží),  $\Delta Z_z$

Příloha č. 4: Vyhodnocení kruhovitosti od středu nejmenší opsané kružnice,  $\Delta Z_c$

Příloha č. 5: Vyhodnocení kruhovitosti od středu nejmenší vepsané kružnice,  $\Delta Z_i$

Příloha č. 6: Použití VT Kladky

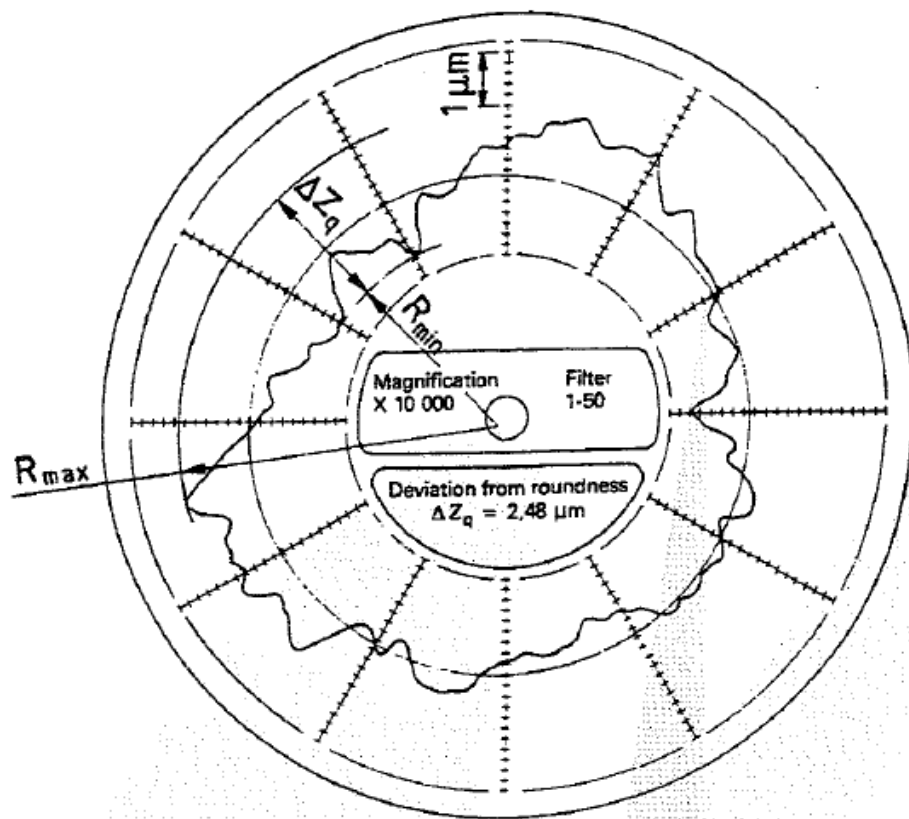
Příloha č. 7: Měřicí protokol ScanMax

Příloha č. 8: Měřicí protokol Formtestr MMQ

## Příloha č. 1: Certifikáty firmy Timken



**Příloha č. 2:** Vyhodnocení kruhovitosti od středu nejmenších čtverců,  $\Delta Z_q^6$



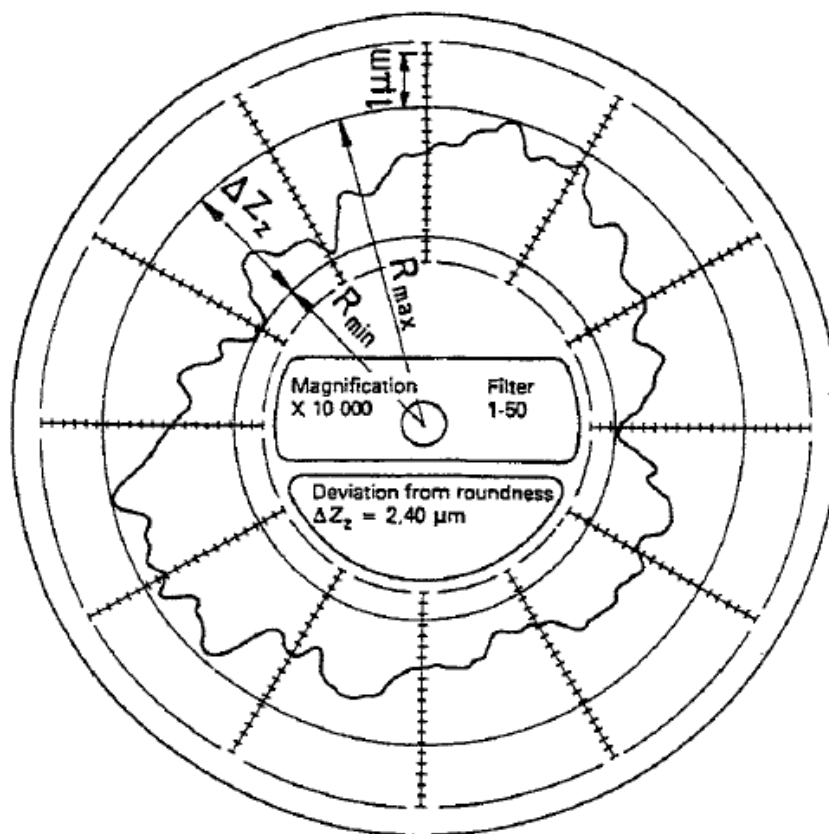
Magnification – zvětšení

Filter – filtr

Deviation from roundness – úchylka kruhovitosti



**Příloha č. 3:** Vyhodnocení kruhovitosti od středu nejmenšího pásma (mezikruží),  $\Delta Z_z$

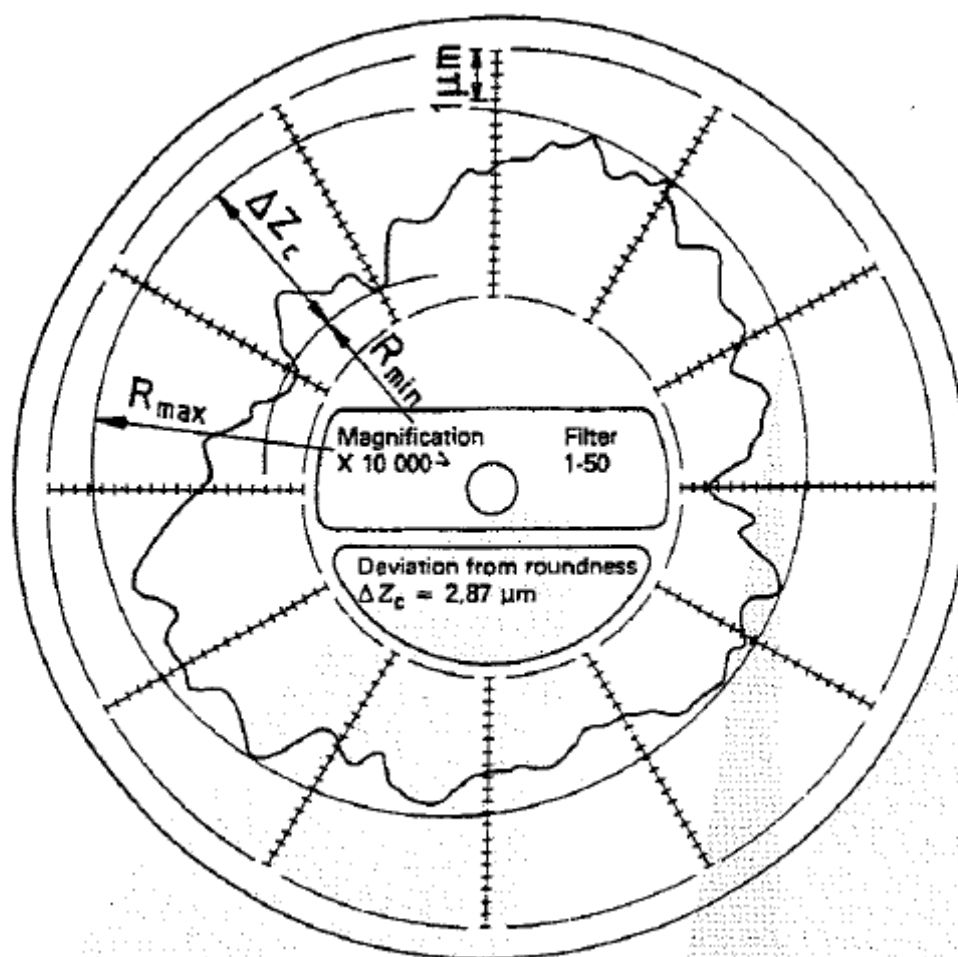


Magnification – zvětšení

Filter – filtr

Deviation from roundness – úchylka kruhovitosti

**Příloha č. 4:** Vyhodnocení kruhovitosti od středu nejmenší opsané kružnice,  $\Delta Z_c$

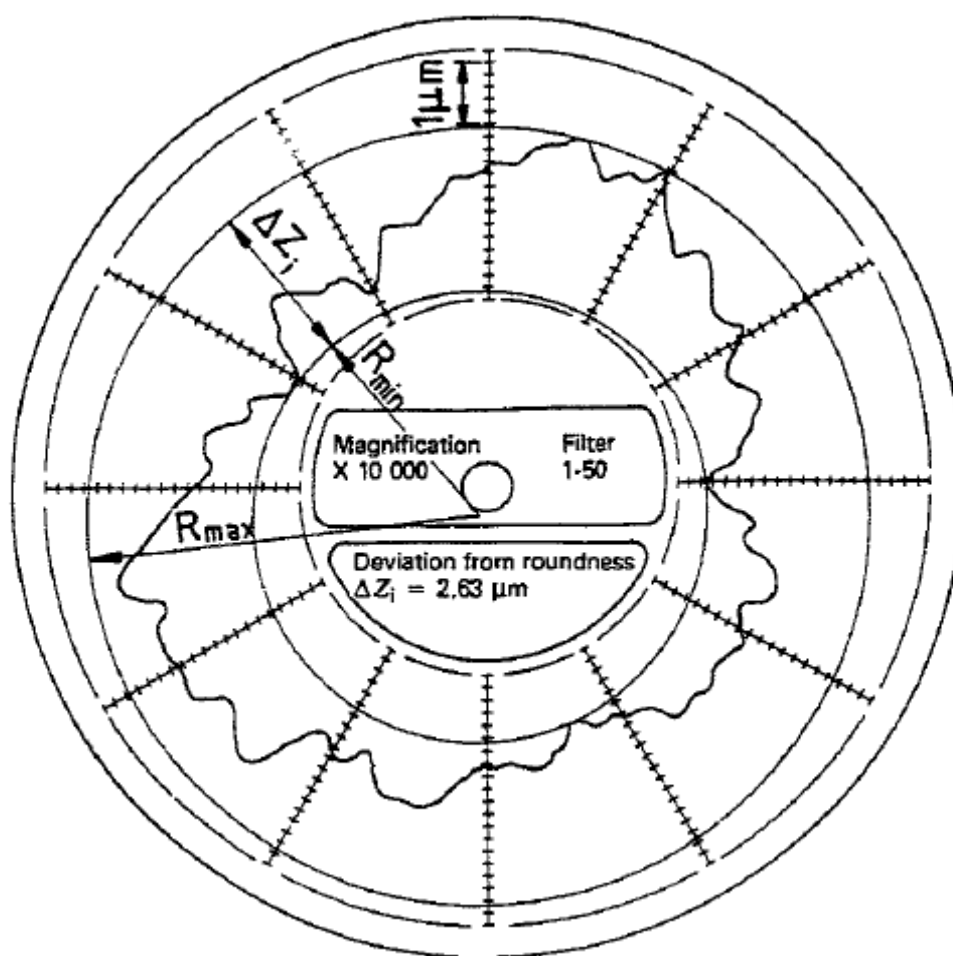


Magnification – zvětšení

Filter – filtr

Deviation from roundness – úchylka kruhovitosti

**Příloha č. 5:** Vyhodnocení kruhovitosti od středu nejmenší vepsané kružnice,  $\Delta Z_i$



Magnification – zvětšení

Filter – filtr

Deviation from roundness – úchylka kruhovitosti

## VT-601-343-1 – Automotive Application

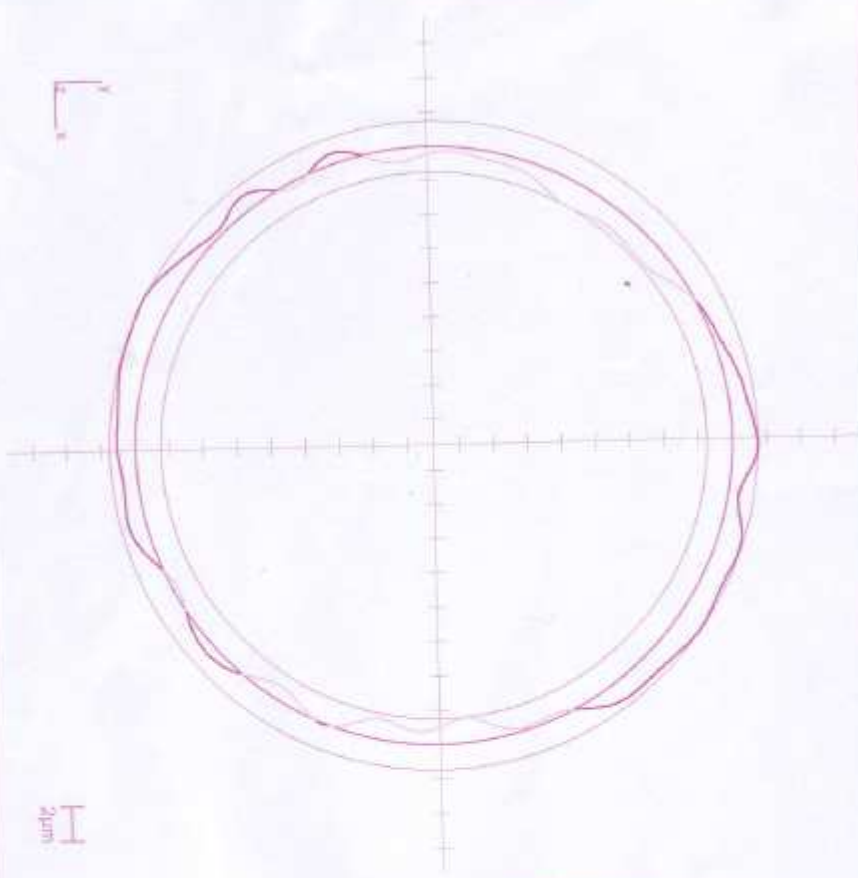



### ● Motor DT12 12 420 Euro 4

- Kladka (protikus vačky zdvihátka)
- Scania P420/R420

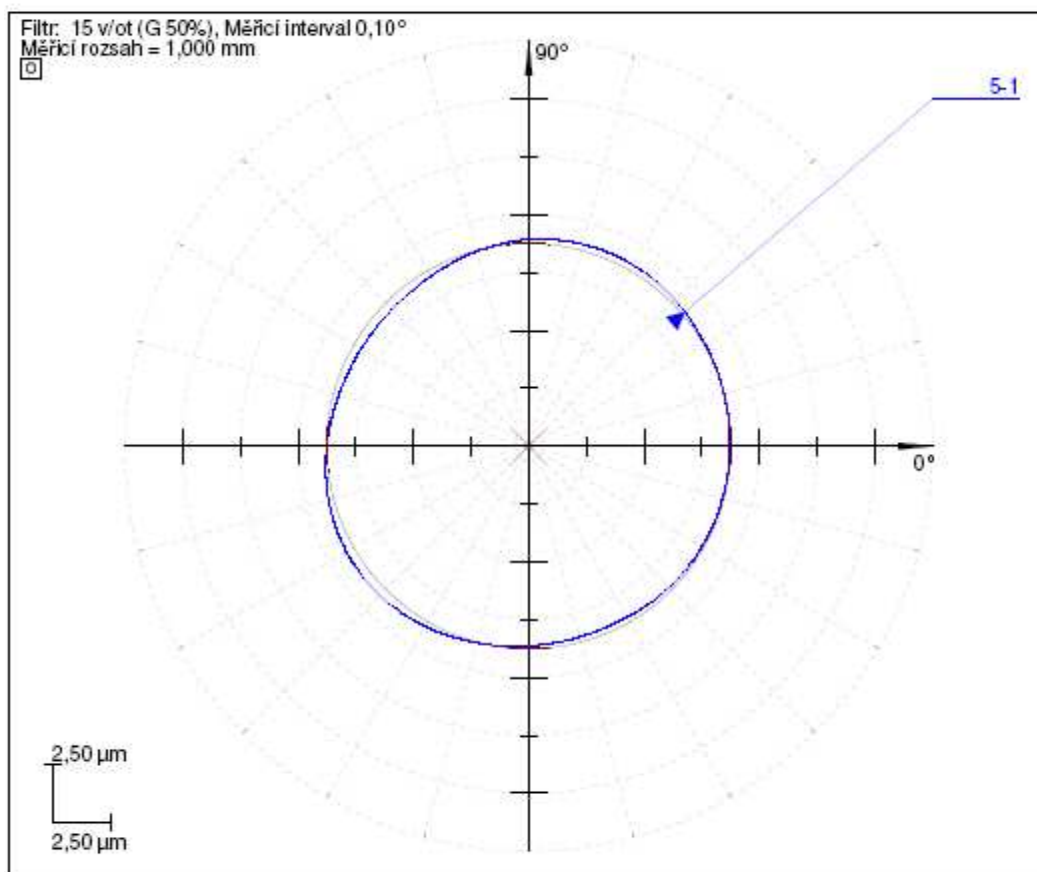


## Příloha č. 7: Měřicí protokol ScanMax

Kruhovitost	
	
Diagram... Kruh2D (10)	
<p>Uživatel: TIMKEN Datum: 16.12.2008 Čas: 8:49:59 Měřicí pr... VT-SPC.SDB Varianta: Teplota: 20.08 °C Materiál: Ocel Stroj: ScanMax-IPX Č.stroje.: 1080132 ID-Code: D8FCAD0D0000</p> <p>Připravení: Zone Počet bodů: 349 UPR: 15 Průměr: 15.0508mm Jmen.hod. průměr: 15.0000mm FMin: -0.0015mm FMax: 0.0015mm Úch.tvaru: 0.0030mm Sériové č... ---</p> <p> <b>ScanDare</b> PRO</p>	

## Příloha č. 8: Měřicí protokol Formtestr MMQ

	FORM-PC	TIMKEN ČR s.r.o	16.12.2008
	V4.28.7 SP2	OLOMOUC	10:01:55
Součást VT-601-343	Výkres č.	Operace	Operator Veverka
Protokol měření 20		Měrové středisko: Metrologie	
Maschine: MMQ44CNC		Zakázka č.:	Č.dávky: 0
Komentář MĚŘENÍ Č.20			VTHAZ.FPC



Profil nebo Úloha	Poloha [mm, °]	Výsledek [μm]  [mm]	Tolerance [mm]	Ref.	Reference	Excentricita [μm]	Fáze [°] Stou [μm/m]
5:KRUHOVITOS 5-1	81,99	0,79 0,79	0,0050	LSC LSC		1,66	117,93